



TUGAS AKHIR – MO 141326

**ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA SACRIFICIAL
ANODE PADUAN ALUMINIUM WT S-4 Al DAN PADUAN
SENG WT S-4 Zn UNTUK PERLINDUNGAN KOROSI PADA
KAPAL**

**Fitri Lidya Sandra
NRP. 4313100015**

**Dosen pembimbing:
Herman Pratikno, ST.,MT.,Ph.D
Ir. Wisnu Wardhana, SE.,M.Sc.,Ph.D**

**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT – MO 141326

THE ANALYSIS OF PERFORMANCE COMPARISON SACRIFICIAL ANODE ALUMINUM ALLOY AND ZINC ALLOY FOR CORROSION PROTECTING ON A SHIP

Fitri Lidya Sandra

NRP. 4313100015

Supervisors:

Herman Pratikno, ST.,MT.,Ph.D

Ir. Wisnu Wardhana, SE.,M.Sc.,Ph.D

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

Faculty Of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute Of Technology

Surabaya 2017

**ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA SACRIFICIAL ANODE
PADUAN ALUMINIUM WT S-4 Al DAN PADUAN SENG WT S-4 Zn
UNTUK PERLINDUNGAN KOROSI PADA KAPAL**

TUGAS AKHIR

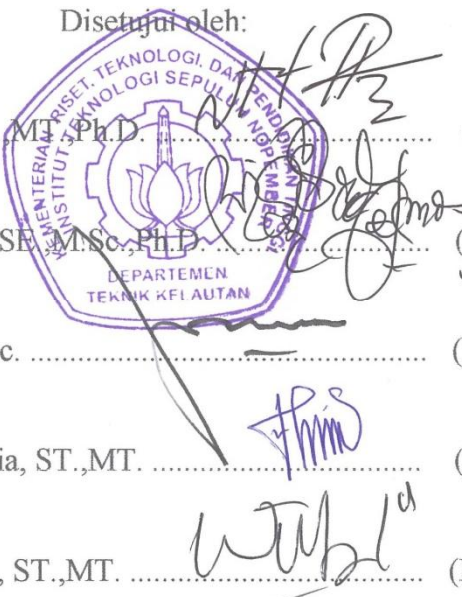
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Fitri Lidya Sandra

NRP: 4313100015

Disetujui oleh:

- 
1. Herman Pratikno, ST., MT., Ph.D. (Pembimbing 1)
 2. Ir. Wisnu Wardhana, SE., M.Sc., Ph.D. (Pembimbing 2)
 3. Ir. J.J. Soedjono, M.Sc. (Penguji 1)
 4. Darta Marina Chamelia, ST., MT. (Penguji 2)
 5. Wimala L. Dhanistha, ST., MT. (Penguji 3)

Surabaya, Juli 2017

(halaman ini sengaja dikosongkan)

**ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA SACRIFICIAL ANODE
PADUAN ALUMINIUM WT S-4 Al DAN PADUAN SENG WT S-4 Zn
UNTUK PERLINDUNGAN KOROSI PADA KAPAL**

Nama : Fitri Lidya Sandra
NRP : 4313100015
Jurusan : Teknik Kelautan FTK – ITS
Dosen Pembimbing : Herman Pratikno, ST.,MT.,Ph.D
Ir. Wisnu Wardhana, SE.,M.Sc.,Ph.D

ABSTRAK

Dalam masa operasi kapal akan mengalami permasalahan yang kompleks karena faktor lingkungan air laut yang korosif sehingga menyebabkan penurunan kekuatan dan umur pakai kapal akibat terjadinya korosi. Untuk menghindari kerugian akibat korosi air laut diperlukan perlindungan korosi pada pelat kapal. Dalam tugas akhir ini dilakukan analisis perbandingan dua jenis anoda korban yaitu paduan aluminium WT S-4 Al dan paduan seng WT S-4 Zn untuk melindungi korosi pada kapal. Dari hasil pengujian laju korosi di laboratorium diketahui bahwa laju korosi anoda korban: paduan aluminium sebesar 3,0648 mm/tahun sedangkan paduan seng sebesar 2,5432 mm/tahun. Hasil perhitungan kebutuhan anoda korban dengan panjang kapal 74,30 m dibutuhkan anoda korban: paduan aluminium sebanyak 30 buah dengan berat 120 kg sedangkan paduan seng sebanyak 77 buah dengan berat 308 kg. Dari hasil perhitungan kebutuhan anoda korban dapat ditentukan lokasi peletakan anoda korban sesuai dengan kebutuhan proteksinya. Perhitungan ekonomis penggunaan anoda korban paduan meliputi biaya pembelian anoda, biaya instalasi anoda, dan biaya perawatan sehingga biaya total penggunaan anoda korban paduan: aluminium sebesar Rp 59.902.300,00 untuk umur proteksi 1,2 tahun, sedangkan paduan seng Rp 81.919.300,00 untuk umur proteksi 1,6 tahun. Dari pengujian laju korosi dan perhitungan ekonomis penggunaan anoda korban paduan seng lebih baik dibandingkan paduan aluminium untuk melindungi korosi pada kapal.

Kata kunci: kapal, korosi, proteksi katodik, anoda korban

(halaman ini sengaja dikosongkan)

**THE ANALYSIS OF PERFORMANCE COMPARISON SACRIFICIAL
ANODE ALUMINUM ALLOY WT S-4 Al AND ZINC ALLOY WT S-4 Zn
FOR CORROSION PROTECTING ON A SHIP**

Name : Fitri Lidya Sandra
NRP : 4313100015
Department : Ocean Engineering
Supervisors : Herman Pratikno, ST.,MT.,Ph.D
Ir. Wisnu Wardhana, SE.,M.Sc.,Ph.D

ABSTRACT

During the operation, the ship will experience complex problems due to the corrosive sea water environment which is causing the degradation in strength and life time of the ship. To avoid losses due to corrosion of sea water, corrosion protection is required on the ship plate. This final project analyzed the comparative of two types of sacrificial anode alloys such as aluminum alloy WT S-4 Al and zinc alloy WT S-4 Zn to protect the corrosion on the ship. The result of corrosion rate testing in the laboratory was known that the sacrificial anode corrosion rate is aluminum alloys is 3.0648 mm / year while the zinc alloy is 2.5432 mm / year. The calculation result of the sacrificial anode' need for 74.30 m length of the ship required the sacrificial anode of aluminum alloy 30 pieces and 120 kg while zinc alloy 77 pieces and 308 kg. Those results determined the setting location of the sacrificial anode according to the protection requirement. The economic calculation of the use of alloy sacrificial anode included the cost of anode purchase, the cost of anode installation, and the cost of maintenance. Therefore, the total cost of anode was aluminum alloy is Rp 59.902.300, 00 while zinc alloy is Rp 81.919.300,00. It can be concluded from the corrosion rate testing and economic calculation that the use of sacrificial anode zinc alloy is better than aluminum alloy to protect corrosion on a ship.

Key words: ship, corrosion, cathodic protection, sacrificial anode

(halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena atas limpahan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Analisis Perbandingan Kinerja *Sacrificial Anode* Paduan Aluminium WT S-4 Al Dan Paduan Seng WT S-4 Zn Untuk Perlindungan Korosi Pada Kapal” tepat waktu dan tanpa halangan berarti.

Tugas Akhir ini disusun sebagai syarat untuk mendapatkan gelar sarjana S-1 di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tugas akhir ini berisi tentang perbandingan dua jenis anoda korban paduan yaitu paduan aluminium dan paduan seng untuk melindungi korosi pada kapal dengan mempertimbangkan laju korosi, kemampuan proteksi dan faktor ekonomi. Sehingga akan diketahui anoda korban apakah yang lebih baik dan ekonomis untuk melindungi korosi pada kapal.

Penulis mengharapkan saran dan kritik pembaca demi perbaikan dan kesempurnaan penyusunan dan penulisan berikutnya. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi perkembangan teknologi di bidang rekayasa kelautan, bagi pembaca dan penulis sendiri.

Surabaya, 1 Juli 2017

Penulis

(halaman ini sengaja dikosongkan)

UCAPAN TERIMAKASIH

Penyelesaian Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan petunjuk dan kemudahan sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini,
2. Kedua orang tua penulis yang senantiasa mendoakan dan memberi dukungan baik moril maupun materiil,
3. Herman Pratikno, ST.,MT.,Ph.D dan Ir. Wisnu Wardhana, SE.,M.Sc.,Ph.D selaku dosen pembimbing pertama dan kedua yang selalu membimbing penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini,
4. Dr. Eng. Muhammad Zikra, ST.,M.Sc. selaku dosen wali yang selalu membimbing penulis dalam penentuan pengambilan mata kuliah selama penulis menjalani studi di Teknik Kelautan FTK ITS,
5. Ir. J.J. Soedjono, M.Sc., Darta Marina Chamelia, ST.,MT., dan Wimala L. Dhanistha, ST.,MT. Selaku dosen penguji ruang sidang B yang telah memberi masukan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini,
6. Bapak Bayu Setyono, Bapak Yudiono, dan Onggo Firstha Nichita ST, yang membantu memberikan masukan sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik,
7. Munif Arizal yang selalu memberi semangat dan motivasi dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini,
8. Semua rekan-rekan Valtameri L-31 Teknik Kelautan FTK ITS
9. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu penulis sehingga Tugas Akhir ini dapat selesai dengan baik.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
UCAPAN TERIMA KASIH	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Sistematika Laporan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Dasar Teori.....	8
2.2.1 Pengertian Korosi.....	8
2.2.2 Mekanisme Korosi	11
2.2.3 Korosi Pada Media Air Laut	12
2.2.4 Salinitas Air Laut	18
2.2.5 Keasaman (pH) Air Laut.....	18
2.2.6 Korosi Pelat Baja Pada Kapal	19
2.2.7 Perlindungan Korosi Dengan Anoda Korban	20
2.2.8 Anoda Korban Paduan Seng	21

2.2.9	Anoda Korban Paduan Alumunium	22
2.2.10	Perhitungan Laju Korosi Menggunakan Metode Elektrokimia.....	23
2.2.11	Perhitungan Kebutuhan Anoda Korban	24
2.2.12	Perhitungan Kebutuhan Massa Anoda Korban	25
2.2.13	<i>Current Density</i>	25
2.2.14	Perhitungan Panjang Anode	26
2.2.15	Perhitungan Jumlah Anode.....	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		29
3.1	Diagram Air.....	29
3.2	Prosedur Penelitian	30
3.2.1	Identifikasi dan Perumusan Masalah.....	30
3.2.2	Studi Literatur.....	30
3.2.3	Pengumpulan Data.....	30
3.2.4	Perencanaan	30
3.2.5	Perhitungan Teknis Perencanaan Variasi Penggunaan SACP.....	31
3.2.5.1	Analisa Laju Korosi.....	31
3.2.5.2	Perhitungan Kebutuhan Massa Anode	31
3.2.5.3	Perhitungan Jumlah Anode.....	32
3.2.5.4	Penentuan Lokasi Peletakan SACP	32
3.2.5.5	Perhitungan biaya penggunaan SACP	33
3.2.6	Analisis Perbandinga Penggunaan SACP	33
3.2.7	Variasi Selesai	33
3.2.8	Kesimpulan.....	33
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN		35
4.1	Analisis Data	35
4.1.1	Data Kapal	35
4.1.2	Data Anode	36
4.1.2.1	Data Komposisi Kimia	36
4.1.2.2	Data Ekonomis Anode.....	37

4.2 Perencanaan.....	38
4.2.1 Hasil Pengujian Laju Korosi di Laboratorium	38
4.2.2 Perhitungan Kebutuhan Anode	39
4.2.3 Perhitungan Jarak Pemasangan Anode	41
4.2.4 Perancangan Peletakan Anode	41
4.2.5 Analisis Ekonomi	43
4.3 Pembahasan.....	45
BAB V PENUTUP.....	47
5.1 Kesimpulan	47
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	
BIOGRAFI	

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Terjadi Korosi Dibawah <i>Mill Scale</i>	21
Gambar 2.2 Laju Korosi Berdasarkan Korosi.....	15
Gambar 2.3 Laju Korosi Pengaruh Dari Salinitas Udara.....	16
Gambar 2.4 Sel Korosi Basah Sederhana	21
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir.....	29
Gambar 4.1 Lines Plane Kapal Kontainer.....	36
Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Laju Korosi Pada SACP Paduan.....	39
Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Berat SACP.....	43
Gambar 4.4 Grafik Analisis Ekonomi SACP.....	44

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Unsur Pokok Dalam Media Air Laut	13
Tabel 2.2 Pengaruh Perubahan Lingkungan Air Laut Terhadap Korosi Baja	17
Tabel 2.3 Konsentrasi Ion/Molekul Pada Air Laut Densitas 1,023 g/cm ³	18
Tabel 2.4 Sifat Mekanis Baja Kapal	20
Tabel 2.5 Anoda Korban Seng Aplikasi Dalam Media Air Laut	22
Tabel 2.6 Anoda Korban Alumunium Aplikasi Dalam Air Laut	23
Tabel 2.7 Desain Arus Rata-Rata Densitas Berdasarkan Kedalaman Dan Iklim	24
Tabel 2.8 Required Current Density (mAmp/m ²)	26
Tabel 4.1 Data Of Container Ships 100 Teus	35
Tabel 4.2 Komposisi Kimia Alumunium Alloy Anode	36
Tabel 4.3 Komposisi Kimia Zinc Allay Anode	37
Tabel 4.4 Daftar Harga SACP Paduan Alumunium WT S-4 Al.....	37
Tabel 4.5 Daftar Harga SACP Paduan Zinc WT S-4 Zn	38
Tabel 4.6 Data Pengujian Laju Korosi dengan Metode Elektrokimia	38
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Kebutuhan Anode.....	40
Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Jarak Pemasangan SACP Paduan AL dan Zn	41
Tabel 4.9 Lokasi Peletakan SACP Paduan Alumunium	42
Tabel 4.10 Lokasi Peletakan SACP Paduan Zinc	42
Tabel 4.11 Biaya Total yang Dibutuhkan Untuk Penggunaan SACP Paduan Zn ...	44
Tabel 4.12 Biaya Total yang Dibutuhkan Untuk Penggunaan SACP Paduan Al....	44

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data dan Gambar Kapal Kontainer

Lampiran 2 Hasil Pengujian Laju Korosi

Lampiran 3 Perhitungan Kebutuhan SACP Paduan Alumunium

Lampiran 4 Perhitungan Kebutuhan SACP Paduan Zinc

Lampiran 5 Perhitungan Biaya SACP Paduan Alumunium

Lampiran 6 Perhitungan Biaya SACP Paduan Zinc

Lampiran 7 Gambar Peletakan SACP Paduan Alumunium Pada Model

Lampiran 8 Gambar Peletakan SACP Paduan Zinc Pada Model

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Korosi merupakan masalah paling kompleks yang terjadi di dunia perindustrian termasuk pada perindustrian kapal. Secara umum korosi dapat digolongkan berdasarkan rupa, keseragaman atau keserbanekaan, baik secara mikroskopis maupun makroskopis (Nia Mihmidaty, 2009). Korosi pada pelat kapal mengakibatkan turunnya kekuatan dan umur pakai kapal. Untuk menghindari kerugian akibat korosi dalam air laut diperlukan perlindungan korosi pada pelat kapal. Salah satu cara untuk melindungi pelat kapal dari korosi air laut adalah dengan metoda proteksi katodik menggunakan sistem anoda korban. Perlindungan anoda korban mempunyai kelebihan yaitu : lebih sederhana, stabil dan biaya perawatan relatif rendah (Eko Yulianto, 2010).

Setiap laju korosi yang terjadi pada pelat baja tidak merata, disebabkan oleh: jumlah biofouling yang menempel pada pelat tidak merata, posisi pemasangan anoda yang menunjukkan kerapatan anoda tiap meter luas pelat yang dilindungi belum sesuai, terjadinya benturan pelat dengan dasar laut maupun pelat dengan dermaga sehingga pelat pesok atau rusak sehingga dapat meningkatkan laju korosi (Khairul Akbar, 2011).

Pengendalian korosi yang terjadi di lingkungan laut pada dasarnya adalah masalah disain. Ini tidak sekedar hanya sebuah pertanyaan dari pemilihan material penghambat atau pelapisan yang sangat tahan lama, tetapi ini merupakan perihal penyesuaian semua elemen yang berbeda bersama-sama untuk mengurangi korosi untuk bisa diterima dan memenuhi level ekonomis (Santoso, 2004). Fenomena korosi eksternal pada pelat kapal dapat dicegah dengan cara pengendalian lingkungan yaitu diterapkannya proteksi katodik (*cathodic protection*) dengan metode anoda tumbal (*sacrificial anode*) yang menggunakan konsep tentang sel korosi basah, yakni bahwa dalam suatu sel, anodal adalah yang terkorosi (Trethewey dan Chamberlain, 1998). Kualitas anoda korban dipengaruhi oleh komposisi paduan anoda, ada dua jenis anoda korban paduan yang digunakan di lingkungan

air laut, sebagai *cathodic protection* pada kapal yang mempunyai komposisi paduan berbeda yaitu anode korban paduan seng dan aluminium (Juliana Anggono, 2000). Kemampuan proteksi anoda korban paduan terhadap pelat baja disebabkan karena adanya perbedaan komposisi paduan tetapi adakalanya di lapangan ditemui pelat kapal yang terkorosi dikarenakan kurangnya kebutuhan berat dan jumlah anoda korban yang dipasang, oleh karena itu penelitian ini mengamati tentang perbandingan kinerja dan kebutuhan pemasangan dua jenis anoda korban paduan yaitu paduan seng dan paduan aluminium sebagai *cathodic protection* pelat kapal serta pengaruhnya terhadap laju korosi dan nilai ekonomis dari *cathodic protection* yang digunakan untuk perlindungan korosi pada kapal.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang diangkat dalam Tugas Akhir ini adalah:

- 1) Bagaimana perencanaan kebutuhan dan lokasi pemasangan *sacrificial anode* pada kapal?
- 2) Jenis *sacrificial anode* apakah yang lebih baik dan ekonomis digunakan untuk melindungi korosi pada kapal?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah diatas, tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- 1) Mendapatkan kebutuhan dan lokasi pemasangan *sacrificial anode* pada kapal,
- 2) Mendapatkan jenis *sacrificial anode* yang lebih baik dan ekonomis dalam perlindungan korosi pada kapal.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penulisan tugas akhir ini yaitu dapat dijadikan bahan pertimbangan dalam menentukan jenis proteksi katodik yang digunakan pada pembangunan kapal baru dan mempertimbangkan lokasi peletakan proteksi katodik tersebut agar mampu memberikan perlindungan terhadap korosi selain itu perbandingan harga dari kedua jenis anode korban juga menjadi

pertimbangan dalam perencanaan penggunaan anode korban dengan harga yang ekonomis.

1.5. Batasan Masalah

Untuk memperjelas permasalahan tugas akhir ini, maka perlu adanya ruang lingkup pengujian atau asumsi-asumsi sebagai berikut:

- 1) Objek penelitian ini didapat dari *project* pembangunan kapal kontainer baru di Galangan PT. Lamongan Marine Industry dan studi literatur,
- 2) Data yang digunakan berdasarkan data yang diperoleh dari galangan PT. Lamongan Marine Industry,
- 3) Jenis anode korban yang digunakan yaitu anode korban paduan seng WT S-4 Zn dan anode korban paduan aluminium WT S-4 Al
- 4) Material pelat kapal adalah pelat *marine grade* A yang memiliki komposisi kimia setara dengan baja AISI E 2512
- 5) Segi ekonomis *Sacrificial anode cathodic protection* memperhitungkan biaya pembelian alat, biaya instalasi dan biaya perawatan.

1.6. Sistematika Laporan

Sistematika Penulisan Tugas Akhir meliputi:

BAB I PENDAHULUAN

Meliputi latar belakang disusunnya tugas akhir, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah, manfaat, serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Terdiri dari beberapa paparan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang mendukung serta teori yang melandasi analisis.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisi tentang alur pengerjaan tugas akhir ini dengan tujuan untuk memecahkan masalah yang diangkat dalam bentuk diagram alir atau *flow chart* yang disusun secara sistematis yang dilengkapi pula dengan data data penelitian serta penjelasan detail untuk setiap langkah pengerjaannya.

BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

Merupakan penjelasan pokok mengenai pemecahan masalah. Dalam hal ini adalah mengenai Analisa Perbandingan Kinerja *Sacrificial Anode* Paduan Seng WT S-4 Zn Dan Paduan Alumunium WT S-4 Al.

BAB V PENUTUP

Berisi kesimpulan yang menjawab tujuan dan saran mengenai penelitian selanjutnya

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Korosi secara umum diartikan sebagai proses penurunan kualitas material akibat interaksi dengan lingkungan sekitarnya. Interaksi ini menimbulkan reaksi korosi yang umumnya merupakan reaksi elektrokimia. Reaksi elektrokimia melibatkan perpindahan elektron yang merupakan hasil reaksi redoks (reduksi-oksidasi). Proses oksidasi pada anoda (reaksi anodik) yang melepaskan elektron sedangkan proses reduksi pada katoda (reaksi katodik) yang mengkonsumsi elektron. Korosi sebagai suatu reaksi elektrokimia yang memberikan dampak kerusakan fisik suatu material secara signifikan sehingga perlu perhatian untuk mencegah dan meminimalisasi kerugian yang timbul akibat efek korosi. Jumlah logam dan paduannya merupakan fungsi dari lingkungan sehingga saling mempengaruhi kedua parameter tersebut antara lain lingkungan air tawar, air laut, tanah (Frontana dan Greene, 1978).

Cathodic protection merupakan sebuah teknik untuk mengontrol korosi pada permukaan logam dengan membuat permukaan sebagai katoda dari sel elektrokimia, hal ini dilakukan dengan menurunkan potensial antar muka dari struktur menuju daerah imun struktur pada grafik potensial pH. Korosi akan terjadi pada ujung anoda sehingga bagian katoda akan terlindungi.

Beberapa penelitian terdahulu yang menggunakan tema penggunaan paduan proteksi katodik anoda korban sebagai berikut:

Menurut Zakaria (2004) *Sacrificial Anodi Cathodic Protection* merupakan perlindungan dengan cara *galvanis coupling* dimana logam akan diproteksi digabungkan dengan logam yang lebih anodik. Anoda ini disebut anoda tumbal yang mana akan terkorosi terlebih dahulu. Dalam hal ini logam yang akan ditumbalkan harus mempunyai potensial yang lebih rendah dari logam utama sehingga yang terkorosi adalah logam tambahan.

Menurut Eko Julianto (2010), pada tulisannya yang berjudul Efektivitas penggunaan anoda korban paduan aluminium pada pelat baja kapal AISI E 2512

terhadap laju korosi di dalam media air laut. Dari penelitiannya dihasilkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Anoda korban paduan aluminium yang dipasang pada pelat lambung kapal secara vertikal, dapat memperlambat laju korosi rata-rata sebesar 0,304 mm/tahun setelah kapal berlayar selama 3 tahun. Anoda korban paduan aluminium yang dipasang pada pelat lambung kapal secara longitudinal, dapat memperlambat laju korosi rata-rata sebesar 0,327 mm/tahun, setelah kapal berlayar selama 3 tahun.
2. Laju korosi rata-rata spesimen uji pelat baja lambung kapal AISI-E 2512, dengan perlindungan anoda korban paduan aluminium A (0,095 mm/tahun), paduan aluminium B (0,096 mm/tahun), paduan aluminium C (0,065 mm/tahun), dan spesimen uji D tanpa anoda korban (0,139 mm/tahun). Anoda korban paduan aluminium-C memiliki kinerja lebih baik dari anoda korban yang lain dengan laju korosi rata-rata anoda korban paduan aluminium-C (1,586 mm/tahun)
3. Sebagai rekomendasi dari hasil pengujian korosi, anoda korban paduan aluminium-C dengan komposisi kimia Al = 97,165%, Zn = 2,00%, In=0,030%, merupakan pilihan terbaik.

Lia Pongsapan (2010), pada tulisannya yang berjudul Efektivitas penggunaan anoda korban paduan seng pada pelat baja kapal AISI E 2512 terhadap laju korosi di dalam media air laut. Dari penelitiannya dihasilkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Kebutuhan anoda korban paduan seng pada lambung kapal Elnusa Samudra – 1 sudah memenuhi syarat aman dengan laju korosi rata-rata sebesar 0,073 mm/tahun. Kapal Elnusa Samudra – 1 di proteksi 44 buah anoda korban paduan seng kualitas produk A seberat 8 kg. Total berat anoda korban paduan seng pada kapal Elnusa Samudra – 1 sebanyak 352 kg.
2. Penggunaan anoda korban paduan seng produk A terbukti lebih efektif dibandingkan anoda korban paduan seng produk B. Laju korosi pelat baja yang diproteksi anoda korban paduan seng produk A sebesar 0,0662

mm/tahun sedangkan laju korosi pelat baja yang diproteksi anoda korban paduan seng produk B lebih tinggi yaitu 0,0867 mm/tahun.

3. Laju korosi pada pelat baja yang diproteksi anoda korban paduan seng produk A secara horisontal sebesar 0,0662 mm/tahun sedangkan proteksi vertikal sebesar 0,0689 mm/tahun. Laju korosi pada pelat baja yang diproteksi anoda korban paduan seng produk B secara horisontal sebesar 0,0867 mm/tahun sedangkan proteksi vertikal sebesar 0,0890 mm/tahun.

Menurut Juliana Anggono (2000) pada tulisannya yang berjudul Studi perbandingan kinerja anoda korban paduan aluminium dengan paduan seng dalam lingkungan air laut. Dari penelitiannya dihasilkalkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Peningkatan salinitas dari 33‰ menuju 37‰ secara umum meningkatkan kinerja anoda korban paduan seng maupun paduan aluminium.
2. Peningkatan luas struktur yang diproteksi akan menyebabkan peningkatan arus galvanik yang terjadi, yang secara umum akan menurunkan kapasitas dan efisiensi, serta meningkatkan laju konsumsi anoda korban.
3. Kinerja anoda korban paduan aluminium lebih baik daripada paduan seng.
4. Pola korosi yang terlihat dari pengamatan foto makro menunjukkan pada anoda korban paduan seng maupun paduan aluminium terjadi korosi yang tidak merata dengan adanya korosi lubang (*pitting*) di permukaannya.

Untuk saran yang disampaikan oleh peneliti adalah penelitian lebih lanjut dapat dilakukan dengan mengkombinasikan metode proteksi katodik anoda korban ini dengan metode lain, misalnya pengecatan.

Menurut Khairul Akbar (2011) pada tulisannya yang berjudul Studi penggunaan zinc anode pada pelat baja kapal tunda Anggada X PELINDO III Surabaya terhadap laju korosi.

Dari penelitiannya dihasilkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Setiap laju korosi yang terjadi pada pelat baja tidak merata, disebabkan oleh: jumlah biofouling yang menempel pada pelat tidak merata, posisi pemasangan anoda yang menunjukkan kerapatan anoda tiap meter luas pelat yang dilindungi belum sesuai, terjadinya benturan pelat dengan dasar laut maupun pelat dengan dermaga sehingga pelat pesok atau rusak sehingga dapat meningkatkan laju korosi.
2. Penurunan berat pelat lambung kapal terjadi karena korosi pada pelat yang tercelup dalam air laut dan dipercepat oleh arus laut yang menciptakan gelombang yang membentur badan kapal saat berlayar. Disamping itu karena air laut adalah media yang sangat korosif bagi pelat lambung kapal dan pada bagian alas kapal juga terjadi korosi karena terdapat hewan laut yang menempel atau biofouling.

Saran yang dapat diberikan pada analisa *field project* ini adalah penulis menyarankan dalam proses pemasangan anoda korban ini perlu diperhatikan lebih baik lagi kedepannya. Sehingga pelat baja kapal yang tercelup air laut bisa tahan lebih lama terhadap laju korosi yang terjadi.

Kemampuan proteksi anoda korban paduan terhadap pelat baja disebabkan karena adanya perbedaan komposisi paduan tetapi adakalanya di lapangan ditemui pelat kapal yang terkorosi dikarenakan kurangnya kebutuhan berat dan jumlah anoda korban yang dipasang, oleh karena itu penelitian ini mengamati tentang perbandingan kinerja dan kebutuhan pemasangan dua jenis anoda korban yaitu paduan seng dan paduan aluminium sebagai *cathodic protection* pelat kapal serta pengaruhnya terhadap laju korosi dan nilai ekonomis dari *cathodic protection* yang digunakan untuk perlindungan korosi pada kapal.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Pengertian Korosi

Definisi korosi adalah perusakan atau penurunan mutu dari material akibat bereaksi dengan lingkungan (Mars G.Fontana,1987), dalam hal ini adalah interaksi secara kimiawi.

Ditinjau dari segi termodinamika, proses korosi adalah proses yang sangat bersifat alamiah. Pada dasarnya semua logam tidak stabil. Logam murni cenderung bereaksi dengan lingkungan dimana ia berada dan membentuk senyawa oksida atau karbonat yang lebih stabil.

Jika dilihat dari sudut pandang kimia, korosi pada dasarnya merupakan reaksi logam menjadi ion pada permukaan logam yang kontak langsung dengan lingkungan berair dan oksigen.

Korosi didefinisikan sebagai penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya (Trethewey, 1991). Beberapa hal penting menyangkut definisi ini adalah :

- 1 Korosi berkaitan dengan logam, seperti persamaan berikut :



M = simbol untuk atom logam

n = jumlah ion suatu unsure

- 2 Melalui penggunaan istilah degradasi atau penurunan mutu, korosi adalah proses yang tidak dikehendaki. Logam yang terkorosi akan mengalami penipisan permukaan, kerusakan atau perubahan bentuk.
- 3 Penurunan mutu logam tidak hanya melibatkan reaksi kimia, namun juga reaksi elektrokimia yakni antara logam yang bersangkutan terjadi perpindahan elektron. Elektron adalah suatu yang bermuatan negatif, maka pengangkutannya menimbulkan arus listrik, karena reaksi tersebut dipengaruhi oleh potensial listrik.
- 4 Lingkungan adalah semua unsur disekitar logam terkorosi pada saat reaksi berlangsung.

Jenis kerusakan yang terjadi tidak hanya tergantung pada jenis logam, keadaan fisik logam dan keadaan penggunaan-penggunaannya, tetapi juga tergantung pada lingkungannya. Ditinjau dari bentuk produk atau prosesnya, menurut Setyowati (2008) korosi dapat dibedakan dalam beberapa jenis, di antaranya :

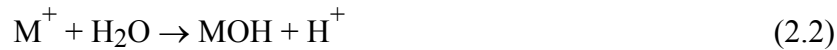
1. Korosi Homogen, yaitu jenis korosi yang sering dan umum terjadi pada konstruksi-konstruksi logam. Jenis ini biasanya dikategorikan menurut reaksi *electro-chemical* yang secara homogen terjadi karat ke seluruh bagian material yang terbuka.

2. Korosi Galvanik, yaitu korosi yang terjadi pada dua logam berbeda potensial dalam satu elektrolit. Logam yang mempunyai tahanan korosi kecil (anodik) akan terkorosi.
3. Korosi celah (*crevice corrosion*), yaitu korosi yang sering terjadi pada celah dan permukaan tertutup lainnya dari suatu logam yang terletak pada *corrosive media*. Tipe korosi jenis ini selalu dalam skala kecil dari larutan yang terperangkap lewat lubang, gasket, *lap joint* maupun baut.
4. Korosi batas butir (*intergranular corrosion*), yaitu korosi yang terjadi pada batas butir yang merupakan tempat mengumpulnya impurity atau presipitat dan lebih tegang.
5. Korosi sumuran (*pitting corrosion*), yaitu korosi yang terjadi akibat adanya sistem anoda pada logam yang terdapat konsentrasi ion Cl^- yang tinggi.
6. *Selective Leaching*, yaitu larutnya salah satu komponen dari suatu paduan dan mengakibatkan paduan yang tersisa akan menjadi berpori sehingga ketahanan korosi berkurang.
7. Korosi Erosi (*erosion corrosion*), yaitu korosi yang disebabkan oleh gerakan relatif antara fluida korosif dan permukaan metal.
8. Korosi Tegangan (*stress corrosion*), yaitu korosi akibat adanya retakan akibat tegangan tarik dan media korosif secara bersamaan.
9. Korosi Biologi, yaitu kerusakan logam oleh proses korosi sebagai akibat langsung maupun tidak langsung dari aktivitas organisme hidup, baik mikroorganisme maupun makroorganisme.

2.2.2 Mekanisme Korosi

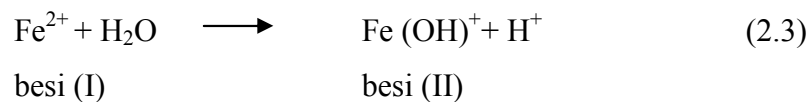
Korosi secara elektrokimia dapat diilustrasikan dengan reaksi antar ion logam dengan molekul air. Mula-mula akan terjadi hidrolisis yang akan

mengakibatkan keasaman meningkat (Trethewey, 1991). Hal ini dapat diterangkan dengan persamaan berikut:

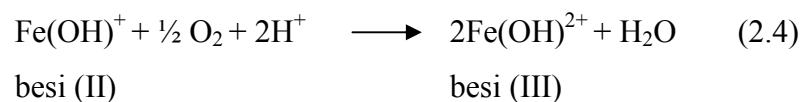


Persamaan ini menggambarkan reaksi hidrolisis yang umum, dimana pada elektrolit yang sebenarnya akan terdapat peran klorida yang penting tetapi akan menjadi rumit untuk diuraikan. Kecenderungan yang rendah dari klorida untuk bergabung dengan ion-ion hidrogen dalam air mendorong menurunnya pH larutan elektrolit (Trethewey, 1991).

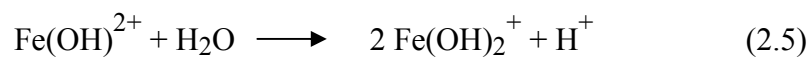
Persamaan reaksi jika reaksi di atas adalah ion besi dan molekul air (Trethewey, 1991), adalah sebagai berikut:



Kemudian reaksi ini dapat berlanjut dengan terjadinya reaksi oksidasi oleh kehadiran oksigen terhadap besi (II), sehingga akan terbentuk ion-ion besi (III) (Trethewey, 1991). Persamaan reaksi tersebut dapat diuraikan sebagai berikut:

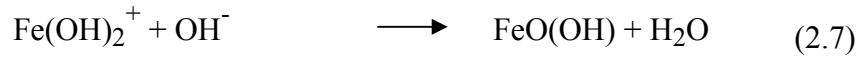
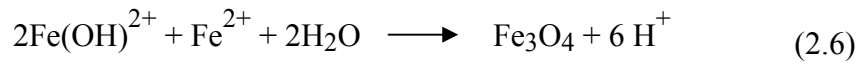


Reaksi-reaksi hidrolisis selanjutnya dimungkinkan, yang menyebabkan larutan semakin asam:



Untuk selanjutnya dapat diuraikan reaksi dari ion-ion kompleks sehingga terbentuk hasil korosi utama yaitu magnetit dan karat, berturut-turut dinyatakan dengan rumus Fe_3O_4 dan $FeO(OH)$ (Trethewey, 1991).

Persamaan reaksi-reaksi tersebut adalah:



Karat

Laju korosi secara elektrokimia merupakan kecepatan rata-rata perubahan ketebalan atau berat dari logam yang mengalami korosi terhadap waktu melalui proses elektrokimia (Trethewey, 1991).

2.2.3. Korosi Pada Media Air Laut

Korosi yang terjadi dilingkungan air laut di dorong oleh faktor-faktor: kadar gas dalam air laut (*aerosols*), hujan (*rain*), embun (*dew*), kondensasi, tingkat kelembaban, dan resistivitas. Secara alami lingkungan air laut mengandung ion klorida dengan kombinasi tingginya penguapan, unsur yang terkandung dalam air laut dapat dilihat dalam Tabel 2.1 dan persentase oksigen yang terkandung turut memperparah korosi karena air laut. Korosi pada air laut sangat tergantung pada:

- Kadar khlorida
- pH
- Kadar Oksigen
- Temperatur

Tabel 2.1 Unsur Pokok Dalam Media Air Laut

<i>Anion</i>	<i>Part/Million</i>	<i>Equevalents per Million</i>	<i>Part per Million per unit Chlorinity</i>
<i>Chloride, Cl⁻</i>	18.980,00	535,30	998,90
<i>Sulfate, SO₄²⁻</i>	2.649,00	55,10	139,40
<i>Bicarbonete, HCO₃⁻</i>	139,70	2,30	7,35
<i>Bromine, Br⁻</i>	64,60	0,80	3,40
<i>Fluoride, F⁻</i>	1,30	0,10	0,07
<i>Boric Acid, H₃BO₃</i>	26,00	-	1,37
Total		593,60	
<i>Cation</i>	<i>Part/Million</i>	<i>Equevalents per Million</i>	<i>Part per Million per unit Chlorinity</i>
<i>Sodium, Na⁺</i>	10.556,10	159,00	555,60
<i>Magnesium, MG²⁺</i>	1.272,00	104,60	66,95
<i>Calcium, Ca²⁺</i>	400,10	20,00	21,06
<i>Potassium, K⁺</i>	380,00	9,70	20,00
<i>Strotium, Sr²⁺</i>	13,30	0,30	0,70
Total		593,60	

Sumber: Benjamin D (2006)

Air laut merupakan lingkungan yang korosif untuk besi dan baja, terutama karena resistivitas air laut sangat rendah (± 25 Ohm-Cm) dibandingkan resistivitas air tawar (± 4000 Ohm-Cm). Proses korosi air laut merupakan proses elektrokimia. Faktor-faktor yang mendorong korosi pelat baja dalam media air laut adalah:

a. Sifat kimia – fisika air laut

Kandungan garam yang terlarut dalam air laut dan temperatur sangat menentukan penghantar listrik pada air laut, yang merupakan salah satu faktor mempercepat terjadinya proses korosi. Pada kadar garam yang sama, kenaikan temperatur air laut menyebabkan daya hantar listrik air laut meningkat, sedangkan pada temperatur air laut yang sama dengan kadar garam yang meningkat menyebabkan hantaran listrik air laut naik.

b. Sifat biologis air laut

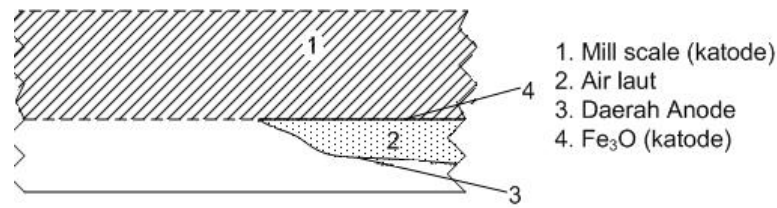
Pengaruh *fouling* akan menimbulkan korosi pada pelat lambung kapal. Proses korosi terjadi saat melekatnya mikro organisme bersel satu pada lambung kapal dengan bantuan cat sebagai zat perekatnya, sehingga terdapat lapisan yang mudah mengelupas. Pada lapisan yang mengelupas akan timbul benih-benih hewan laut dan tumbuhan laut yang akan terus berkembang biak. Mikroorganisme yang menempel di lambung kapal menimbulkan pertukaran zat yang menghasilkan zat-zat agresif seperti : NH_4OH , CO_2 , H_2S dan atom-atom yang agresif, selanjutnya akibat reaksi elektrokimia terbentuklah gas oksigen. Gas oksigen dengan proses *chlorophile* akan membentuk sulfit dan sulfat yang menghasilkan zat yang berpengaruh terhadap terjadinya korosi air laut.

c. Susunan Kimia Logam

Selain unsur Fe pada pelat baja kapal juga terdapat unsur lainnya seperti C, Si, Mn, Cu, Cr, Ni, S dan P, unsur yang menimbulkan korosi air laut adalah unsur: C, Mn, S dan P.

d. Pembentukan *Mill Scale* Pada Pelat Baja

Pembentukan *mill scale* terdiri dari tiga lapisan, lapisan terluar adalah Fe_2O_3 , lapisan tengah Fe_3O_4 dan FeO , sedangkan lapisan yang dekat pelat kapal adalah FeO dan Fe. Perbedaan potensial elektrokimia antara pelat baja kapal $\pm 0,28$ volt. Perbedaan potensial elektrokimia tersebut menyebabkan terjadi reaksi yang menimbulkan korosi air laut pada pelat baja kapal. Lapisan Fe_3O_4 dari hasil korosi air laut pada pelat baja kapal akan menimbulkan daerah anoda seperti Gambar.2.1, yang akan terus meluas sampai dibawah lapisan mill scale. Daerah anoda yang kedua ini menimbulkan korosi air laut yang lebih besar dibandingkan dengan daerah anoda yang pertama karena terdapat oksigen bebas yang dapat dengan bebas bereaksi (Benyamin D, 2006).

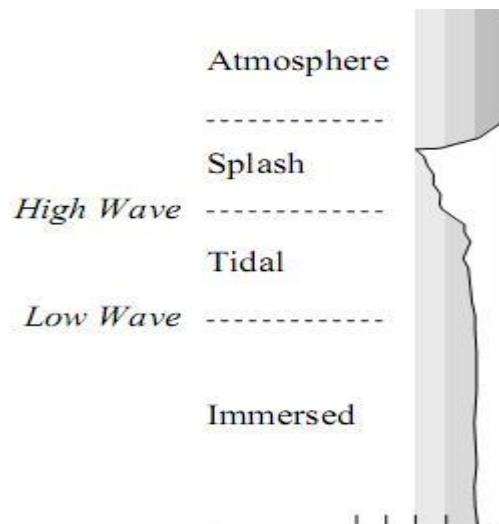


Gambar 2.1 Terjadi Korosi Dibawah *Mill Scale*

Sumber: Benjamin D. (2006)

Laju korosi dalam lingkungan laut tergantung dari posisi pelat baja kapal yang dipasang, antara lain, zona di atas permukaan air laut, zona di bawah permukaan air laut atau zona antara (*tidal zone*). Konsentrasi klorida air laut tergantung pada kedekatan dan ketinggian dari permukaan air laut. Korosi berkurang pada daerah yang lebih tinggi dari permukaan air laut. karena kurangnya percikan air garam yang bekerja sebagai elektrolit dan juga karena temperatur lebih tinggi dan kelembaban lebih rendah.

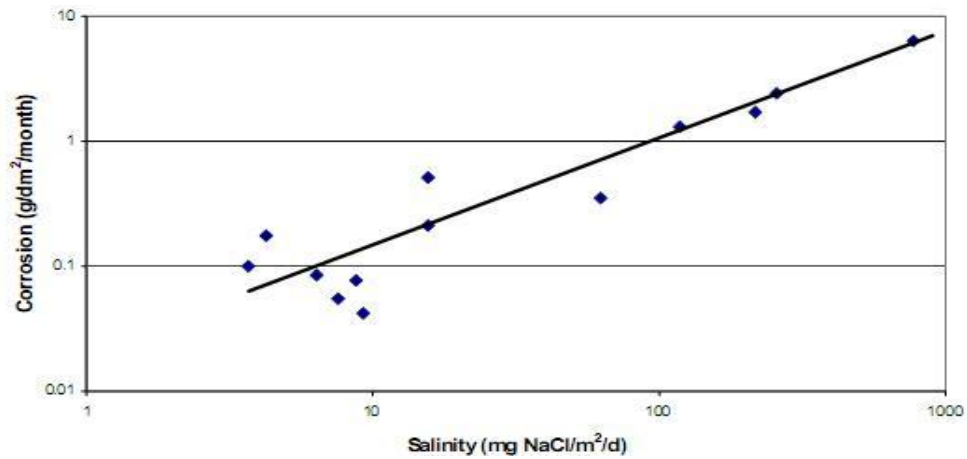
Kemudian gelombang yang pecah pada permukaan pelat baja lambung kapal juga memberi kontribusi terhadap laju korosi pelat tersebut, terutama terjadi pada daerah terdekat dengan permukaan air laut (*splash zone*) dan pada zona ini juga terjadi erosi seperti Gambar.2.2., sehingga memperparah kerusakan pelat.



Gambar.2.2. Laju korosi berdasarkan zona korosi

Sumber: Benjamin D. (2006)

Laju korosi juga terpengaruh oleh salinitas atmosfer (kadar garam di udara yang tergantung letak geografis) seperti dijelaskan pada Gambar.2.3. serta pengaruh perubahan lingkungan air laut terhadap korosi baja Tabel.2.2.



Gambar.2.3. Laju korosi pengaruh dari salinitas udara

Sumber: Benjamin D. (2006)

Tabel.2.2. Pengaruh perubahan lingkungan air laut terhadap korosi baja

Faktor dalam air laut	Pengaruh pada besi dan baja
Ion klorida	Sangat korosif terhadap logam yang mengandung besi. Baja karbon dan logam besi tidak dapat di pasifkan (garam air laut mengandung klorida lebih dari 55%).
Kehantaran listrik	Kehantaran yang tinggi memungkinkan anoda dan listrik katoda tetap bekerja walau jaraknya jauh, jadi peluang terkena korosi meningkat dibanding dalam air tawar.
Oksigen	Korosi pada baja dikendalikan secara katodik, Oksigen akan mendepolarisasi katoda, sehingga mudah terjadi korosi terutama dengan kandungan oksigen yang tinggi.
Kecepatan aliran air laut	Laju korosi meningkat dengan adanya gelombang dan arus laut yang tinggi hal ini menyebabkan : 1. menghancurkan lapisan anti karat, 2. menghasilkan banyak oksigen, mempercepat penetrasi, membuka rongga di permukaan baja.
Temperatur	Temperatur air laut yang tinggi akan meningkatkan terjadinya korosif.
<i>Fouling</i> (biologis)	Pengotoran pelat baja karena binatang laut akan meningkatkan terjadinya korosif.
Tegangan	Tegangan yang berulang akan menyebabkan kelelahan material terutama yang telah terkena korosi, dan akan mempercepat kegagalan struktur
Pencemaran	Sulfida dalam polutan yang mencemari air laut akan meningkatkan korosif walaupun penurunan oksigen dapat mengurangi korosi.
<i>Silt</i> dan sendimen tersuspensi	Erosi pada permukaan baja oleh bahan tersuspensi dalam air laut akan cenderung meningkatkan korosi
Terbentuknya lapisan	Lapisan karat dan kerak mineral (garam-garam kalsium dan magnesium) akan mengganggu difusi oksigen ke permukaan katoda sehingga memperlambat korosi

2.2.4. Salinitas Air Laut

Korosi akibat media air laut juga dipengaruhi oleh tingkat penggaraman atau salinitas air laut. Salinitas didefinisikan sebagai berat keseluruhan dalam gram kadar garam-garam non organik pada 1 kg air laut (jika unsur-unsur klorida dan semua unsur karbonat digantikan dengan unsur-unsur oksida dalam jumlah sesuai). Salinitas air laut dinyatakan dengan satuan per seribu ($^{\circ}/_{\text{oo}}$), salinitas air laut ini bervariasi antara : $33,00^{\circ}/_{\text{oo}}$ sampai dengan $37,00^{\circ}/_{\text{oo}}$. Konsentrasi garam terlarut atau ion/molekul dalam air laut dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut:

Tabel 2.3. Konsentrasi Ion/Molekul pada air laut densitas $1,023 \text{ g/cm}^3$ pada 25°C

Garam	Salinitas ($^{\circ}/_{\text{oo}}$)		
	33	35	37
NaCl	23.13	24.53	25.93
MgCl ₂	4.900	5.200	5.497
Na ₂ SO ₄	4.090	4.090	4.090
CaCl ₂	1.090	1.160	1.230
KCl	0.660	0.695	0.735
NaHCO ₃	0.201	0.201	0.201
KBr	0.101	0.101	0.101
H ₃ BO ₃	0.027	0.027	0.027
SrCl ₂	0.024	0.025	0.026
NaF	0.003	0.003	0.003

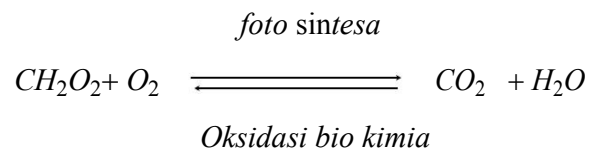
Sumber: Anggono (2000), Jurnal Teknik Mesin FTI, Universitas Kristen Petra Surabaya

2.2.5. Keasaman (pH) Air Laut

Air laut memiliki tingkat keasaman lebih tinggi pada permukaan. Tingkat keasaman (pH) terbentuk karena kandungan 93% karbon anorganik berupa HCO_3^- , 6% berupa CO_3^{2-} dan 1 % berupa CO_2 . Ion karbonat 18amper18e tinggi pada permukaan dan 18amper selalu jenuh dengan kalsium karbonat. Hal

ini menyebabkan terjadinya pengendapan jenuh (*calcareous scale*) pada permukaan logam .

Konsentrasi CO₂ dan O₂ mempunyai hubungan yang erat dengan pH air laut dalam proses fotosintesa dan oksidasi biokimia dengan reaksi sebagai berikut:



Reaksi dari kiri ke kanan, oksigen terlarut di gunakan dan CO₂ di hasilkan. Hasil CO₂ akan membuat air lebih asam, hal ini akan menurunkan pH dan juga menurunkan kejenuhan karbonat. Pengendapan kerak terjadi pada pH yang lebih tinggi dimana ion OH⁻ dihasilkan selama reduksi oksigen terlarut.

2.2.6 Korosi Pelat Baja Pada Kapal

Kapal baja merupakan kapal dengan seluruh bangunan terbuat dari baja paduan dengan komposisi kimia sesuai standar untuk konstruksi kapal yang dikeluarkan oleh biro klasifikasi kapal (*Standards: ABS, BKI, DNV, RINA, GL, LR, BV, NK, KR, CCS and etc*) dengan klas baja : A, B, C, D dan E. (*Grade: A, B, D, E, AH32-AH40, DH32-DH40 ,A32 ,A36 ,D32, D36 and etc*) dengan tebal: 8 mm s/d 100 mm, lebar: 1500 mm s/d 2700 mm, panjang: 6 m s/d 13 m (PT. BKI,2006).

Baja untuk konstruksi kapal pada umumnya dibagi menjadi tiga bagian, yaitu baja konstruksi kapal biasa, baja konstruksi kapal dengan tegangan tinggi, dan baja tempa.

Baja untuk konstruksi kapal mempunyai sifat mekanis yang sudah mendapat persetujuan dari BKI sebagaimana tercantum dalam tabel 2.4 berikut:

Tabel 2.4. Sifat Mekanisme Baja Kapal

No	Jenis Baja	Kekuatan Tarik (Kg/mm ²)	Tegangan Luluh (Kg/mm ²)	Regangan Patah (%)	Keterangan
1	Baja Kapal Biasa	41~50	≥ 24	≥ 22	Bagian kapal yang mendapatkan tekanan kecil
2	Baja Tegangan Tinggi	1. 48~60 2. 50~63	≥ 32 Min. ≥ 36	≥ 22	Bagian kapal yang mendapatkan tekanan tinggi
3	Baja Tempa	Min. 41	-	-	Poros, kopling engkol, linggi

Sumber: Biro Klasifikasi Indonesia (2006)

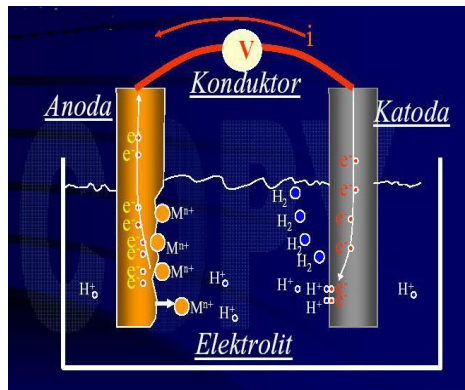
Pemakaian pelat baja untuk bangunan kapal memiliki resiko kerusakan yang tinggi, terutama terjadinya korosi pada pelat baja yang merupakan proses elektrokimia, akibat lingkungan air laut yang memiliki resistivitas sangat rendah ± 25 Ohm-cm, jika dibandingkan dengan air tawar ± 4.000 Ohm-cm (Caridis, 1995) dan sesuai dengan posisi pelat pada lambung kapal.

2.2.7. Perlindungan Korosi dengan Anoda Karbon

Ada dua jenis proteksi katodik, yaitu dengan metoda anoda korban (*sacrificial anode*) dan dengan metoda arus tanding (*impressed current*). Anoda korban relatif lebih murah dan mudah dipasang bila dibandingkan dengan metoda arus tanding. Keuntungan lainnya adalah tidak diperlukannya peralatan listrik yang mahal dan tidak ada kemungkinan salah arah dalam pengaliran arus (Trethewey, 1991).

Penjelasan sederhana untuk menjelaskan cara kerja proteksi katodik dengan anoda korban adalah menggunakan konsep tentang sel korosi basah seperti Gambar 2.4. Kaidah umum dari sel korosi basah adalah bahwa dalam suatu sel,

anodalah yang terkorosi, sedangkan yang tidak terkorosi adalah katoda. Anoda-anoda yang dihubungkan ke struktur dengan tujuan mengefektifkan perlindungan terhadap korosi dengan cara ini disebut anoda korban (*sacrificial anodes*). Kita dapat memanfaatkan pengetahuan mengenai deret galvanik untuk memilih suatu bahan yang akan menjadi anoda. Anoda korban yang biasa digunakan di lingkungan pantai diantaranya adalah seng dan aluminium (Trethewey, 1991).



Gambar 2.4. Sel korosi basah sederhana

Sumber: Trethewey (1991)

2.2.8 Anoda Korban Paduan Seng

Perlindungan yang akan diberikan oleh seng akan luar biasa seandainya logam tersebut dapat dilarutkan dengan laju yang kurang-lebih konstan. Seng murni yang tersedia di pasaran, terkorosi di air laut sambil membentuk selapis kulit kedap air yang sangat membatasi keluaran arusnya. Diantara bahan-bahan pengotor: besi, tembaga dan timbale yang paling menimbulkan efek merusak pada anoda adalah besi. Kelarutannya dalam seng sedemikian rendah ($< 0.0014\%$) sehingga apabila berlebih maka kelebihan-kelebihan itu akan berupa partikel-partikel terpisah. Hal ini pada gilirannya akan membentuk sel galvanik lokal yang menghasilkan suatu lapisan seng hidroksida/seng karbonat yang tidak dapat larut dan tidak menghantarkan listrik; yang akhirnya menjadikan anoda tidak efektif (Trethewey, 1991).

Komposisi kimia anoda korban yang dianjurkan untuk dipakai pada kapal berdasarkan Biro Klasifikasi Indonesia dalam *Regulation for the Corrosion Protection and Coating System* sesuai Tabel 2.5 sebagai berikut ini:

Tabel 2.5. Anoda Korban Seng Aplikasi Dalam Media Air Laut

Elemen	KI-Zn 1	KI-Zn 2
Al	0,100-0,500	$\leq 0,0100$
Cd	0.025-0,070	$\leq 0,0040$
Cu	$\leq 0,005$	$\leq 0,0050$
Fe	$\leq 0,005$	$\leq 0,0014$
Pb	$\leq 0,006$	$\leq 0,0060$
Zn	$> 99,22$	$> 99,880$
Potential (T=20 ⁰ C)	-1,03 Volt Ag/AgCl/See	-1,03 Volt Ag/AgCl/See
Qg (T=20 ⁰ C)	780 Ah/Kg	780 Ah/Kg
Efficiency (T=20 ⁰ C)	95%	95%

Sumber: Biro Klasifikasi Indonesia (2004)

2.2.9 Anoda Korban Paduan Aluminium

Dalam keadaan normal aluminium mengalami korosi sumuran dalam air laut diakibatkan oleh lapisan oksida yang bersifat katodik yang selalu membungkus logam itu ketika masih berada di udara bebas. Unsur paduan yang ditambahkan dapat mencegah terbentuknya selaput oksida yang merata, merekat erat dan protektif sehingga kegiatan galvanik terus berlangsung. Dengan tujuan inilah orang mengembangkan paduan aluminium yang menggunakan seng dan air raksa atau seng dan indium. Paduan aluminium mempunyai nisbah daya listrik/berat yang lebih besar dibandingkan dengan paduan seng dan penggunaan paduan aluminium mulai menggantikan penggunaan seng dalam beberapa penerapan khususnya pada industri lepas pantai (Trethewey, 1991).

Komposisi kimia anoda korban yang dianjurkan untuk dipakai pada kapal berdasarkan Biro Klasifikasi Indonesia dalam *Regulation for the Corrosion Protection and Coating System* sesuai Tabel 2.6 sebagai berikut ini:

Tabel 2.6. Anoda Korban Aluminium Aplikasi Dalam Air Laut

Elemen	KI-A11	KI-A12	KI-A13
Si	$\leq 0,10$	$\leq 0,10$	SI +Fe $\leq 0,10$
Fe	$\leq 0,10$	$\leq 0,13$	
Cu	$\leq 0,005$	$\leq 0,005$	$\leq 0,12$
Mn	N/A	N/A	0,15-0,50
Zn	2,0-6,0	4,0-6,0	2,0-5,0
Ti	-	-	0,01-0,05
In	0,01-0,03	-	0,01-0,05
Sn	-	0,05-0,15	-
Other	$\leq 0,10$	$\leq 0,10$	$\leq 0,10$
Al	residue	residue	Residue
Potential (T=20 ⁰ C)	-1.05 Volt Ag/AgCl/See	-1.05 Volt Ag/AgCl/See	-1.05 Volt Ag/AgCl/See
Qg (T=20 ⁰ C)	2000 Ah/Kg	2000 Ah/Kg	2700 Ah/Kg
Efficiency (T=20 ⁰ C)	95%	95%	95%

Sumber: Biro Klasifikasi Indonesia (2004)

2.2.10 Perhitungan Laju Korosi Pelat Baja Menggunakan Metode Elektrokimia

Metode Elektrokimia adalah metode mengukur laju korosi dengan mengukur beda potensial objek hingga didapat laju korosi yang terjadi. Metode elektrokimia menggunakan rumus yang didasari pada Hukum Faraday yaitu menggunakan rumus sebagai berikut:

$$CR (mpy) = K \frac{a \times i}{n \times D} \dots\dots\dots 2.8$$

dimana :

CR	= Laju korosi (mm/th)
K	= Konstanta, mpy = 0.129; $\mu\text{m/yr}$ = 3.27; mm/yr = 0.00327
a	= <i>Anatomic weight of material</i>
i	= <i>Current density ($\mu\text{a/cm}^2$)</i>
n	= <i>Number of electron lost</i>
D	= Densitas (gram/cm^3)

Metode ini menggunakan perbandingan dengan meletakkan salah satu material dengan sifat korosif yang sangat baik dengan bahan yang akan diuji hingga beda potensial yang terjadi dapat diperhatikan dengan adanya perbandingan tersebut.

2.2.11 Perhitungan Kebutuhan Anoda Korban

Luas permukaan basah (*wetted surface area*) merupakan rancang bangun luas permukaan lambung kapal yang tercelup di dalam air laut sangat diperlukan, untuk menentukan berapa banyak anoda yang diperlukan, tempat peletakan anoda korban, dan lain sebagainya.

Rumus dan Tabel yang diperlukan dalam perhitungan, mengacu pada *Det Norske Veritas Industry Norway AS*, RP B401 yang terdapat dalam Tabel.2.7 sebagai berikut :

Tabel 2.7. Desain arus rata-rata densitas berdasarkan kedalaman dan iklim

Kedalaman (m)	Desain Arus Densitas (rata-rata) dalam A/m^2			
	Tropical ($>20^\circ\text{C}$)	Sub- Tropical ($12-20^\circ\text{C}$)	Beriklim sedang ($7-12^\circ\text{C}$)	Sangat dingin ($<7^\circ\text{C}$)
$0 \leq 30$	0.070	0.080	0.100	$0.120^{(1)}$
> 30	0.060	0.070	0.080	0.100

¹⁾Effects berbagai penggesekan es belum tercakup

Sumber: *Det Norske Veritas Industry Norway AS (1993)*

2.2.12 Perhitungan Kebutuhan Massa Anoda

Kebutuhan desain berat anode yang telah memenuhi apabila hasilnya lebih kecil dari *anode nett mass considereg*. Kebutuhan massa anode ini dihitung untuk mempertahankan proteksi selama umur desain. Dengan 8760 jam dalam satu tahun (DnV, 2005).

$$Ma = \frac{Y \times 8760 \times A \times C}{1000 \times Z \times U} \dots\dots\dots 2.9$$

dimana:

- Ma : Kebutuhan Massa Anoda (Kg)
- Y : *Life Time*
- A : *Hull Surface Area*
- C : *Current Density (Ocean Going Ships)*
- Z : *Capacity Of Alloy*
- U : *Anode Utilisation Factor*

Kebutuhan massa anode sangat berpengaruh dengan nilai *capacity of allaoy* dari anode, semakin besar Z maka kebutuhan massa anode kecil dan semakin kecil nilai Z ketuhan massa anode besar. *Anode utilisation factor* adalah kemampuan anode memproteksi dalam persen.

2.2.13 Current Density

Jumlah dan jenis anoda yang dibutuhkan untuk melindungi lambung kapal luar dihitung dengan mempertimbangkan beberapa factor: ukuran, jenis kapal, kondisi servis dan kondisi lambung, baik yang baru maupun yang sedang beroperasi. Persyaratan kerapatan arus bervariasi untuk masing-masing kapal.

Namun, Tabel 2.8 memberikan panduan umum untuk berbagai macam kapal menurut Willems et al., 2003:

Tabel 2.8 Required Current Density (mAmp/m²)

Required Current Density (mAmp/m ²)					
	Hull	Screw	Rudder	Turbine	Bow Thruster
Bulk Carrier	12	700	150	120	700
VLCC	12	700	150	120	700
Coaster	12	700	250	120	700
Roro Ferries	12	700	150	120	700
Fishing	18	1000	250	120	700
Supply Vessel	18	1000	250	120	700
Work Vessel	40	1400	250	120	700
Ice Class Vessel	20	1400	250	120	700
Container	12	1400	250	120	700
Reefer	12	700	150	120	700
Destroyer	12	700	150	120	700
Naval Vessel	12	700	150	120	700

Sumber: Willems et al., (2003)

2.2.14 Perhitungan Panjang Anoda

Panjang anode ini dihitung untuk mengetahui dimensi anode yang didesain serta untuk menentukan jumlah anode yang akan dipakai. Panjang anode akhir dapat dihitung sebagai berikut (EPE.2009):

$$L_{af} = L_{am}(1 - (0.10 \times U)) \dots \dots \dots 2.10$$

dimana:

L_{af} : Panjang anode-final (m)

L_{am} : Panjang anode-mean (m)

U : *Anode Utilisation Factor*

Perhitungan jarak anode ini digunakan untuk memperkirakan posisi/letak antara anode satu dengan yang lainnya. Panjang anode awal/rata-rata sesuai dengan spesifikasi merk dagang di pasaran.

2.2.15 Perhitungan Jumlah Anoda

Berdasarkan DnV (2005) perhitungan jumlah anode ini bisa berdasarkan kebutuhan arus dan kebutuhan berat anode.

1. Jumlah berdasarkan kebutuhan berat anoda

$$na = \frac{Ma}{Waf} \dots\dots\dots 2.11$$

dimana:

- na : Jumlah anoda
- Ma : Massa anoda yang dibutuhkan (kg)
- Waf : Massa tiap satu anode (Kg)

2. Jumlah anoda berdasarkan kebutuhan arus

$$na = \frac{Irf}{Iof} \dots\dots\dots 2.12$$

dimana:

- na : Jumlah anoda
- Irf : arus akhir yang dibutuhkan (A)
- Iof : arus akhir yang dikeluarkan anoda (A)

Dalam penelitian ini perhitungan jumlah anoda berdasarkan kebutuhan berat anoda.

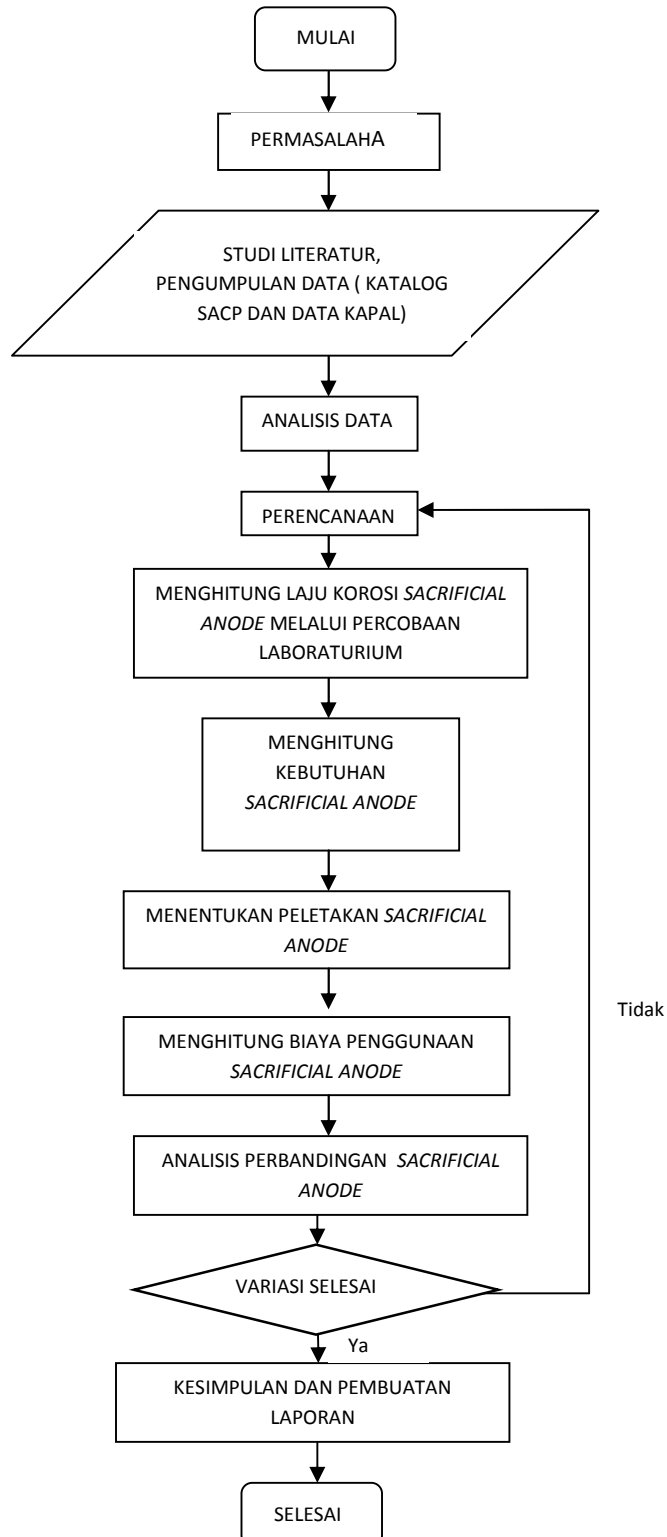
(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

Penjelasan mengenai tugas akhir dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

3.2. Prosedur Penelitian

Adapun prosedur dan langkah-langkah penelitian dalam Tugas Akhir ini dijelaskan sebagai berikut:

3.2.1 Identifikasi dan Perumusan Masalah

Dalam melakukan sebuah penelitian tahap awal yang perlu dilakukan adalah mengidentifikasi masalah yang akan diangkat dalam topik tugas akhir. Identifikasi merupakan suatu pernyataan bahwa terdapat suatu permasalahan yang akan dijelaskan penyebabnya serta bagaimana langkah penyelesaiannya. Dari perumusan masalah kemudian ditetapkan tujuan penelitian agar penelitian menjadi jelas dan terarah. Selanjutnya dilakukan studi literatur dan studi lapangan untuk mencari referensi serta penelitian terdahulu yang kemudian dapat dijadikan perbandingan mengenai *gap* yang ditemukan.

3.2.2 Studi Literatur

Untuk membantu dalam penulisan tugas akhir ini diperlukan banyak literatur-literatur yang mendukung seperti buku dan jurnal yang terkait, hal ini berfungsi sebagai pengembangan wawasan dan analisis.

3.2.3 Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data yang diperlukan sebagai bahan untuk mendukung hipotesa dari penelitian. Adapun data yang dikumpulkan dalam Tugas Akhir ini adalah data lapangan: data Kapal *Container* yang dibangun di Galangan Kapal PT Lamongan Marine Industri dan data non lapangan: data komposisi kimia dan data harga anode yang diperoleh dari katalog *sacrificial anode* Wilson Taylor.

3.2.4 Perencanaan

Dalam tahap perencanaan ini terdapat dua alternatif perencanaan yaitu perencanaan dengan menggunakan paduan seng WT S-4 Zn dan paduan aluminium WT S-4 Al.

3.2.5 Perhitungan Teknis Perencanaan Variasi Penggunaan *Sacrificial Anode*

Dalam tahap ini dilakukan beberapa perhitungan perencanaan variasi penggunaan *sacrificial anode* sebagai berikut:

3.2.5.1 Analisis Laju Korosi Menggunakan Metode Elektrokimia

Metode Elektrokimia adalah metode mengukur laju korosi dengan mengukur beda potensial objek hingga didapat laju korosi yang terjadi. Metode elektrokimia menggunakan rumus yang didasari pada Hukum Faraday yaitu menggunakan rumus sebagai berikut:

$$CR (mpy) = K \frac{a \times i}{n \times D} \dots\dots\dots 3.1$$

dimana :

CR : Laju korosi (mm/th)

K : Konstanta, mpy = 0.129; $\mu\text{m/yr}$ = 3.27; mm/yr = 0.00327

a : *Anatomic weight of material*

i : *Current density ($\mu\text{a/cm}^2$)*

n : *Number of electron lost*

D : Densitas (gram/cm^3)

3.2.5.2 Perhitungan Kebutuhan Massa Anode

Kebutuhan desain berat anode yang telah memenuhi kriteria apabila hasilnya lebih kecil dari *anode nett mass considereg*. Kebutuhan mass anode ini dihitung untuk mempertahankan proteksi selama umur desain. Dengan 8760 jam dalam satu tahun (DnV, 2005).

$$Ma = \frac{Y \times 8760 \times A \times C}{1000 \times Z \times U} \dots\dots\dots 3.2$$

dimana:

Ma : Kebutuhan Massa Anoda (Kg)
Y : *Life Time*
A : *Hull Surface Area*
C : *Current Density (Ocean Going Ships)*
Z : *Capacity Of Alloy*
U : *Anode Utilisation Factor*

3.2.5.3 Perhitungan Jumlah Anode

Jumlah berdasarkan kebutuhan berat anoda

$$na = \frac{Ma}{Waf} \dots\dots\dots 3.3$$

dimana:

na : Jumlah anoda
Ma : Massa anoda yang dibutuhkan (kg)
Waf : Massa tiap satu anode (Kg)

3.2.5.4 Penentuan Lokasi Peletakan Anode

Panjang anode ini dihitung untuk mengetahui dimensi anode yang didesain serta untuk menentukan jumlah anode yang akan dipakai. Perhitungan jarak anode ini digunakan untuk memperkirakan posisi/letak antara anode satu dengan yang lainnya. Panjang anode awal/rata-rata sesuai dengan spesifikasi merk dagang di pasaran. Sedangkan panjang anode akhir dapat dihitung sebagai berikut (EPE.2009):

$$Laf = Lam(1 - (0.10 \times U)) \dots\dots\dots 3.4$$

dimana:

Laf : Panjang anode-final (m)
Lam : Panjang anode-mean (m)
U : *Anode Utilisation Factor*

3.2.5.5 Perhitungan Biaya Penggunaan SACP

Perhitungan biaya penggunaan *sacrificial anode* ini sesuai dengan jumlah anode, tipe dan jenis paduan. Biaya yang digunakan diperhitungkan biaya pembelian anode dan biaya instalasi anode.

3.2.6 Analisis perbandingan penggunaan *sacrificial anode*

Analisis perbandingan penggunaan *sacrificial anode* berdasarkan kinerja, biaya dan laju korosi.

3.2.7 Variasi selesai

3.2.8 Kesimpulan

Isi dari kesimpulan ini merupakan jawaban dari perumusan masalah dan tujuan dari tugas akhir

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data

Pada tugas akhir ini penulis meneliti tentang perbandingan sistem proteksi katodik *Sacrifician Anode Chatodic Protection* untuk selanjutnya akan disebut SACP membandingkan dua jenis paduan yaitu SACP paduan Aluminium WT S-4 Al dan SACP paduan Zinc WT S-4 Zn. Dalam membandingkan sistem perlindungan tersebut menggunakan data kapal Kontainer baru yang di bangun di PT Lamongan Marine Industri (LMI).

4.1.1 Data Kapal

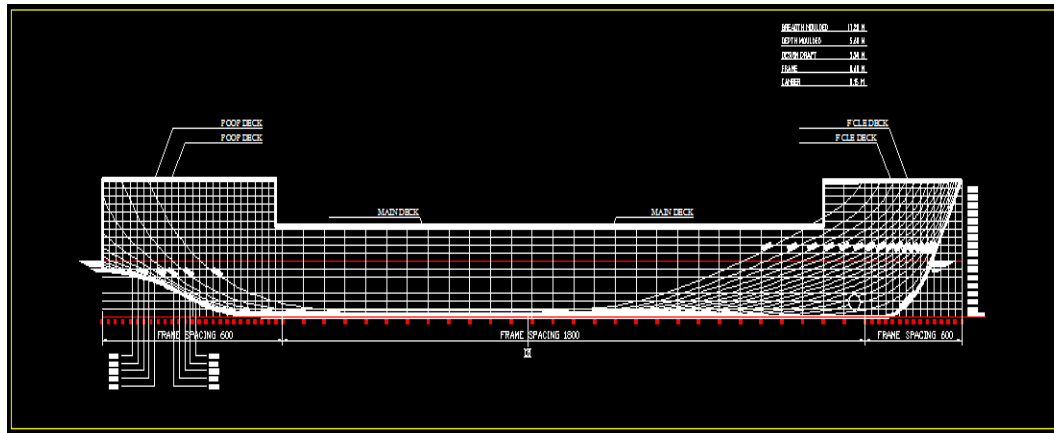
Data kapal yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah data kapal kontainer 100 Teus. Data kapal kontainer sebagai berikut:

Table 4.1 Data Of Container Ships 100 Teus

LOA	74,30 m
LPP	70,00 m
B	17,2 m
H	5,60 m
T	3,50 m
FRAME	0,6 m
Vs	12 knot
Life Time	1 tahun
Current Density (Ocean going ship)	12 m.A/m ²
CAMBER	0,15

Data kapal diatas merupakan data kapal kontainer baru yang dibangun di PT Lamongan Marine Industri.

Berdasarkan data kapal kontainer yang diperoleh dapat digambar rencana garis kapal menggunakan software autocad 2013 sebagai berikut:



Gambar 4.1 Rencana Garis Kapal Kontainer

4.1.2 Data Anode

Data anode diperoleh dari katalog Wilson Taylor, sehingga dapat diketahui data komposisi kimia dari SACP paduan Aluminium maupun SACP paduan Zinc untuk menghitung kebutuhan anode pada kapal dan laju korosi SACP.

4.1.2.1 Data Komposisi Kimia Anode

Tabel 4.2 Komposisi Kimia Aluminium Alloy Anode

	Alalloy III
Zinc	2.8 – 6.5 %
Indium	0.01 – 0.03 %
Iron	0.15 % max
Silicon	0.21 % max
Copper	0.006 % max
Others (Each)	0.02 % max
Aluminium	remainder
Nominal Potential	-1100 m.V Ag/kg
Nominal Current capacity	2700 Ah/kg

Dari Tabel 4.2 diketahui *nominal current capacity* dari aluminium alloy anode sebesar 2700 Ah/kg. *Nominal current capacity* digunakan untuk menghitung kebutuhan massa anode SACP paduan aluminium.

Tabel 4.3 Komposisi Kimia Zinc Alloy Anode

	U.S.-Mil-A-1800 I J
Aluminium	0.10 – 0.50 %
Cadmium	0.025 – 0.07 %
Iron	0.005% max
Copper	0.005% max
Lead	0.006% max
Others	0.10% max
Zinc	Remainder
Nominal Potential	-1.05 V.Ag/AgCl
Nominal Current Capacity	780 Ah/kg

Dari Tabel 4.3 diketahui nominal current capacity dari zinc alloy anode sebesar 780 Ah/kg. *Nominal current capacity* digunakan untuk menghitung kebutuhan massa anode SACP paduan zinc.

4.1.2.2 Data Ekonomis Anode

Daftar ekonomis anode merupakan daftar harga pembelian anode dan pemasangan anode serta daftar harga saat perbaikan kapal untuk penggantian anode setelah habis umur proteksi dari SACP. Dari data yang diperoleh dari PT. Lamongan Marine Industri tabel harga sebagai berikut:

Tabel 4.4 Daftar Harga SACP Paduan Aluminium WT S-4 Al

Pembelian Anode/Kg	Rp 71.200,00
Instalasi Anode/buah	Rp 114.000,00
<i>Maintenance</i>	Rp 47.038.300,00

Tabel 4.5 Daftar Harga SACP Paduan Zinc WT S-4 Zn

Pembelian Anode/Kg	Rp 84.750,00
Instalasi Anode/buah	Rp 114.000,00
<i>Maintenance</i>	Rp 47.038.300,00

4.2 Perencanaan

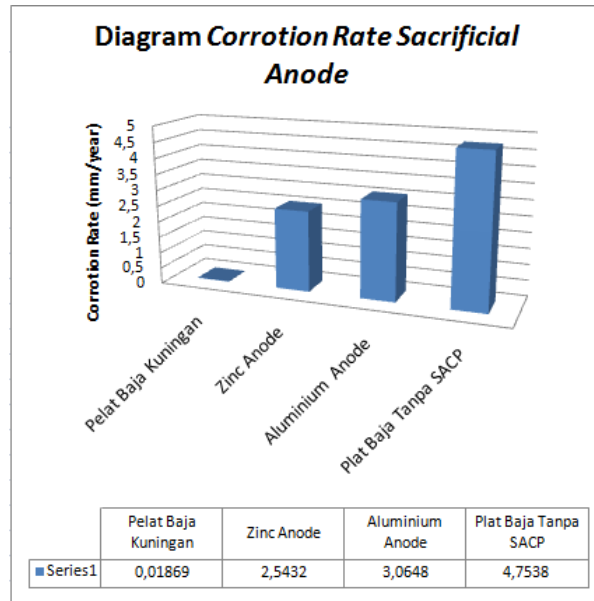
Dari seluruh data yang didapatkan baik dari data lapangan yang berupa data kapal maupun data tambahan yang berasal dari kataog SACP Wison Taylor dilakukan analisis data untuk melakukan perencanaan mengenai desain SACP pada kapal untuk mencegah terjadinya korosi. Analisis dan perencanaan ini berupa pengujian laju korosi menggunakan metode elektrokimia di Laboraturium Elektrokimia dan Korosi Teknik Kimia FTI ITS, perhitungan kebutuhan SACP, jarak pemasangan SACP dan perancangan peletakan SACP pada kapal.

4.2.1 Hasil Pengujian Laju Korosi di Laboraturium

Pada Tugas Akhir ini penulis melakukan pengujian laboraturium menggunakan metode elektrokimia untuk perhitungan laju korosi pada pelat baja sebagai katoda dan SACP sebagai anoda. Dengan hasil sebagi berikut:

Tabel 4.6 Data Pengujian Laju Korosi dengan Metode Elektrokimia

Material	Berat Awal	Area	Waktu Reaksi	Icorr	<i>Corrosion Rate</i>
	(gram)	(cm ²)	(detik)	(A)	(mm/year)
Alumunium	73.058	7.59	120	0.002	3.065
Zinc	18.366	7.59	120	0.001	2.543
Pelat Baja	20.836	7.59	120	0.0001	0.019



Gambar 4.2 Grafik perbandingan laju korosi pada SACP

Dari hasil pengujian dengan metode elektrokimia di laboratorium Elektrokimia dan Korosi Teknik Kimia FTI ITS dapat di ketahui bahwa laju korosi setiap tahun SACP Paduan Zinc lebih rendah yaitu sebesar 2.5432 mm/year dengan umur proteksi 1,6 tahun dibandingkan laju korosi SACP Paduan Alumunium sebesar 3.0648 mm/year dengan umur proteksi 1,2 tahun, sehingga umur proteksi SACP Paduan Zinc lebih lama dibanding alumunium. Umur proteksi diperoleh dari hasil perbandingan berat anode dengan laju korosi SACP.

4.2.2 Perhitungan Kebutuhan Anode

Dalam perhitungan kebutuhan anode secata teknis parameter yang harus di perhatikan adalah sebagai berikut:

- a. Perhitungan Current density dalam satuan Amper (A)

$$Current (A) = \frac{Area (m^2) \times Current density (mA/m^2)}{1000} \dots\dots\dots 4.1$$

*Nilai current density (mA/m²) tercantum dalam Tabel 2.6

b. Perhitungan kebutuhan massa anode

$$W (kg) = \frac{Current (A) \times Design life \times 8760}{Z (A.hrs/kg) \times U} \dots\dots\dots 4.2$$

dimana:

Design life : Umur disain

Z : *Nominal current capacity* (A.h/kg)

U : *Anode utilisation factor*

8760 : Waktu dalam satu tahun (jam)

* *Nominal current* terdapat dalam Tabel 4.2 dan Tabel 4.3

c. Perhitungan jumlah anode yang dibutuhkan untuk memproteksi bagian kapal.

$$N (buah) = \frac{Total berat (W)}{Individual Net Weight} \dots\dots\dots 4.3$$

* *Individual Net Weight* untuk anode dengan berat 4 kg adalah 3,6 kg.

Perhitungan kebutuhan anode untuk memproteksi pelat kapal sesuai dengan hasil perhitungan menggunakan parameter perhitungan diatas sebagai berikut:

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Kebutuhan Anode

Bagian	Paduan Alumunium (m)	Paduan Zinc (m)	Area (m ²)	<i>Current Density</i> (mA/m ²)
Hull	15	52	1253,7	12
Bow Trushter	2	5	3,0144	700
Kemudi	4	10	14,268	250
Bilga Keel	3	10	11,093	250

Hasil perhitungan kebutuhan anode ini untuk selanjutnya digunakan sebagai acuan penempatan anode pada lokasi-lokasi yang sudah direncanakan. Hasil

perhitungan ini untuk satu badan kapal. Perhitungan area proteksi pada bagian hull berdasarkan luasan basah kapal (WSA). Nilai *current density* setiap bagian kapal berbeda di sebabkan oleh kebutuhan proteksi setiap bagian kapal berbeda.

4.2.3 Perhitungan Jarak Pemasangan Anode

Perhitungan jarak antar anode korban diperlukan untuk menentukan letak pemasangan anode korban sesuai dengan jarak hasil perhitungan agar perlindungan anode korban lebih optimal dan tidak menambah berat kapal.

$$\text{Jarak} = \frac{\text{Panjang Kapal yang tercelup air}}{\text{Jumlah anode korban}} \dots\dots\dots 4.4$$

Dari hasil perhitungan jarak pemasangan antar SACP paduan dapat dilihat pada tabel 4.6 sebagai berikut:

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Jarak Pemasangan SACP Paduan Al dan Zn

Bagian	Paduan Alumunium (m)	Paduan Zinc (m)
Hull	5	1.43
Bow Trushter	1.2	0.5
Kemudi	4.76	1.43
Bilge Keel	4	1.2

Jarak pemasangan SACP Paduan Zn lebih dekat antar anode sehingga bagian kapal yang terproteksi lebih maksimal dibandingkan SACP paduan Al.

4.2.4 Perancangan Peletakan Anode

Pada tahap instalasi pemasangan anode dilakukan sebelum kapal diluncurkan. Anode dipasang dengan cara dilas pada bagian lengan anode dan disambungkan langsung pada plat kapal, lapisan coating dihilangkan, hal ini bertujuan agar aliran arus dari anode lebih efektif, tidak terhambat oleh coating.

Anode dipasang pada bagian-bagian kapal yang sudah ditentukan dibawah ini:

Tabel 4.9 Lokasi Peletakan SACP Paduan Alumunium

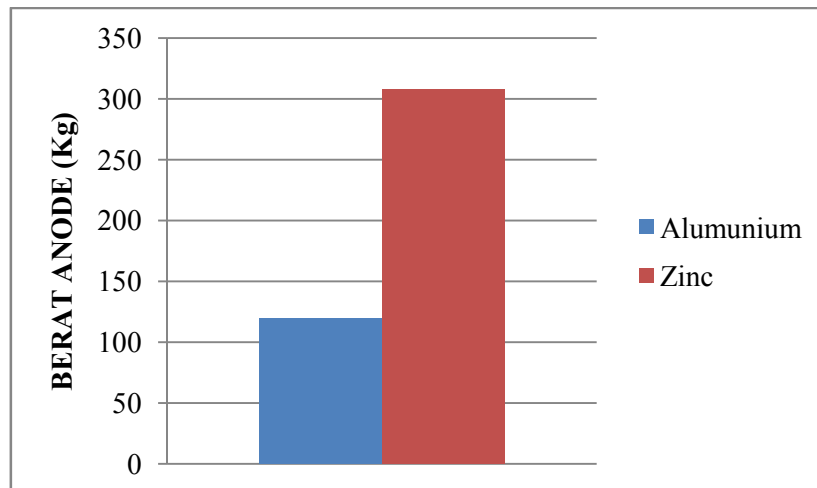
Location	Summary	Waight of Anode	Kg
Bow Trushter	2	4	8
Kemudi Kiri	3	4	12
Kemudi Kanan	3	4	12
Sea Chest	5	4	20
Sirip Bilge Kanan	3	4	12
Sirip Bilge Kiri	3	4	12
Bottom Plat Kiri	3	4	12
Bottom Plat Kanan	3	4	12
Stern	2	4	8
Bilge Keel	3	4	12
Total Anode	30		120

Jumlah SACP paduan Alumunium yang dibutuhkan berdasarkan perhitungan adalah 80 kg, lebih rendah dibandingkan dengan jumlah anode yang dipasang di lapangan sebesar 120 kg karena untuk memenuhi syarat aman.

Tabel 4.10 Lokasi Peletakan SACP Paduan Zinc

Location	Summary	Waight of Anode	Kg
Bow Trushter	6	4	24
Kemudi Kiri	6	4	24
Kemudi Kanan	6	4	24
Sea Chest	5	4	20
Sirip Bilge Kanan	8	4	32
Sirip Bilge Kiri	8	4	32
Bottom Plat Kiri	11	4	44
Bottom Plat Kanan	11	4	44
Stern	6	4	24
Bilge Keel	10	4	40
Total Anode	77		308

Jumlah SACP paduan Alumunium yang dibutuhkan berdasarkan perhitungan adalah 280 Kg, lebih rendah dibandingkan dengan jumlah anode yang dipasang di lapangan sebesar 308 kg karena untuk memenuhi syarat aman.



Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Berat SACP

Dari hasil perhitungan diperoleh jumlah berat SACP zinc sebesar 308 Kg lebih banyak daripada SACP alumunium sebesar 120 Kg. Hal ini disebabkan karena nilai elektrochemical efficiency zinc lebih rendah daripada alumunium. Semakin berat SACP yang dipasang pada kapal maka semakin besar tahanan kapal.

4.2.5 Analisis Ekonomi

Analisis ekonomi dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pembiayaan yang harus dikeluarkan dalam perlindungan korosi menggunakan SACP paduan aluminium dan SACP paduan zinc. Pembiayaan yang lebih murah menjadi pertimbangan dalam perlindungan kapal terhadap korosi. Perhitungan biaya meliputi perhitungan biaya pembelian anode, pemasangan anode dan perawatan anode. Dari hasil perhitungan diperoleh biaya total untuk penggunaan SACP paduan Aluminium dan SACP paduan Zinc. Untuk biaya satuan sudah dijelaskan pada data ekonomi pada tabel 4.1.2.2. dan untuk jumlah SACP paduan Aluminium sebanyak 30 buah dengan berat total 120 kg dan SACP paduan Zinc 77 buah dengan berat total 308 kg. Dengan perhitungan umur proteksi diperoleh dari berat anode satuan dibagi dengan laju korosi anode.

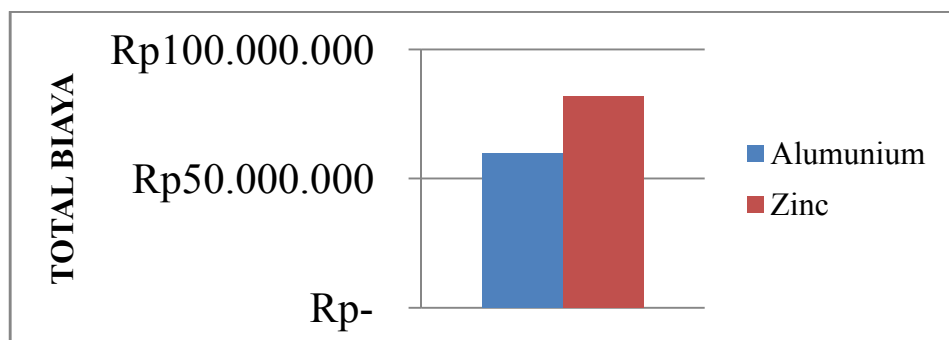
Hasil perhitungan biaya sebagai berikut:

Tabel 4.11 Biaya Total Yang Dibutuhkan Untuk Penggunaan SACP Paduan Zinc

Pembelian Anode	Rp 26.103.000
Instalasi Anode	Rp 8.778.000
Maintenance	Rp 47.038.300
Total	Rp 81.919.300

Tabel 4.12 Biaya Total Yang Dibutuhkan Untuk Penggunaan SACP Paduan Alumunium

Pembelian Anode	Rp 8.544.000
Instalasi Anode	Rp 4.320.000
Maintenance	Rp 47.038.300
Total	Rp 59.902.300



Gambar 4.4 Grafik Analisis Ekonomi SACP

Dari Grafik diatas dapat disimpulkan bahwa total biaya yang dibutuhkan untuk penggunaan SACP Paduan Alumunium yaitu sebesar Rp 59.902.300,00 dengan umur proteksi 1,2 tahun dibandingkan dengan SACP Paduan Zinc sebesar Rp 81.919.300,00 dengan umur proteksi 1,6 tahun. Selisih biaya total sebesar Rp 22.017.000,00 dan selisih umur proteksi 5 bulan.

4.3 Pembahasan

Dari hasil pengujian dengan metode elektrokimi di laboratorium Elektrokimia dan Korosi Teknik Kimia FTI ITS dapat di ketahui bahwa laju korosi setiap tahun SACP Paduan Zinc lebih rendah yaitu sebesar 2.5432 mm/year dibandingkan laju korosi SACP Paduan Alumunium sebesar 3.0648 mm/year. Dengan demikian dapat diketahui bahwa SACP paduan zinc dapat memproteksi kapal dari korosi dalam waktu lebih lama dibandingkan SACP paduan alumunium dengan perbandingan 4 : 3.

Dari hasil perhitungan dan perancangan peletakan diperoleh jumlah berat SACP Zinc sebesar 308 Kg lebih banyak daripada SACP Alumunium sebesar 120 Kg. Hal ini disebabkan karena nilai elektrochemical efficiency Zinc lebih rendah daripada Alumunium, dimana nilai elektrochemical efficiency SACP paduan zinc adalah 780 Ah/kg dan elektrochemical efficiency SACP paduan alumunium 2700 Ah/kg. Semakin berat SACP yang dipasang pada kapal maka semakin besar tahanan kapal. Perhitungan peletakan ini juga memperhitungkan luas daerah yang di proteksi. Daerah yang di proteksi adalah daerah-daerah yang kontak langsung dengan air laut sehingga rawan terjadi korosi seperti halnya dalam tugas akhir ini lokasi peletakan anode pada bagian lambung kapal, bow trushter, kemudi, dan bilge keel.

Dari hasil perhitungan ekonomis meliputi biaya pemasangan anode, biaya pembelian anode, dan biaya perawatan anode, SACP Paduan. Alumunium memerlukan biaya sebesar Rp 59.902.300,00 dengan umur proteksi 1,2 tahun dan SACP Paduan Zinc sebesar Rp 81.919.300,00 dengan umur proteksi 1,6 tahun. Sehingga dari segi ekonomis SACP paduan zinc lebih baik digunakan sebagai perlindungan katodik pada kapal. Dengan selisih umur proteksi 5 bulan, dengan waktu lima bulan tersebut kapal masih dapat beroperasi seperti biasa.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Dari hasil perhitungan dan perancangan peletakan diperoleh jumlah berat SACP Zinc sebesar 308 Kg lebih banyak daripada SACP Alumunium sebesar 120 Kg. Semakin berat SACP yang dipasang pada kapal maka semakin besar tahanan kapal.
2. Dari hasil pengujian dengan metode elektrokimia di laboratorium Elektrokimia dan Korosi Teknik Kimia FTI ITS dapat di ketahui bahwa laju korosi setiap tahun SACP Paduan Zinc lebih rendah yaitu sebesar 2.5432 mm/year dibandingkan laju korosi SACP Paduan Alumunium sebesar 3.0648 mm/year sehingga umur proteksi SACP Paduan Zinc lebih lama dibanding alumunium. Dari hasil perhitungan ekonomis SACP Paduan Alumunium memerlukan biaya sebesar Rp 59.902.300,00 dengan umur proteksi 1,2 tahun dan SACP Paduan Zinc sebesar Rp 81.919.300,00 untuk umur proteksi 1,6 tahun. Dari perbandingan laju korosi, dan perhitungan ekonomis SACP Paduan Zinc lebih baik digunakan untuk perlindungan korosi pada kapal di bandingkan SACP Paduan Alumunium karena waktu proteksinya lebih lama sehingga dari segi biaya pun juga lebih murah.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, Khoirul. 2011. **Studi Penggunaan Zinc Anode Pada Pelat Baja Kapal Tunda Anggada X Pelindo III Surabaya Terhadap Laju Korosi**, Tugas Akhir S-1 Teknik Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Anggono, Juliana. 2000. **Studi Perbandingan Kinerja Anoda Korban Paduan Aluminium dengan Paduan Seng dalam Lingkungan Air Laut**, Jurnal Teknik Mesin, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Benjamin D. Craig. 2006. **Corrosion Prevention and Control: A Program Management Guide for Selecting Materials**
- BKI, 2006-Jilid II, **Peraturan Klasifikasi dan Konstruksi Kapal Laut Baja**.
- BKI, 2004, **Regulator for the Corrosion and Coating System**.
- Chandler, Kenneth A. 1985. **Marine and offshore corrosion**.
- DNV – RPB – B401. 1993. **Cathodic Protection Design**, Det Norske Veritas Industry Norway AS, Hovik.
- Julianto, Eko. 2010. **Efektivitas Penggunaan Anoda Korban Paduan Aluminium Pada Pelat Baja Kapal Aisi E 2512 Terhadap Laju Korosi Di Dalam Media Air Laut**, Tesis S-2 Teknik Mesin, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Mars G. Fontana. 1987. **Corrosion Engineering**, New York: Mc Graw-Hill Book Company.
- Mihmidaty, Nia. 2009. **Analisis Desain Perlindungan Korosi Eksternal Pada Subsea Pipeline Dengan Sistem Sacrificial Anode**, Tugas Akhir S-1 Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

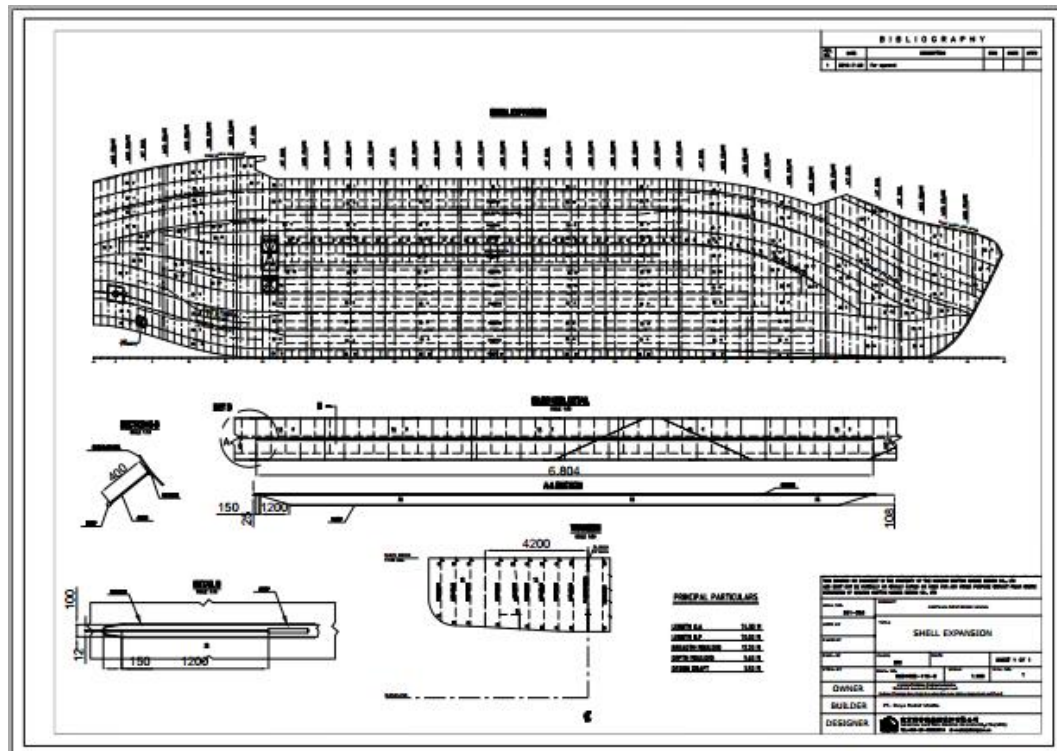
Soegiono. 2004. **Teknologi Produksi dan Perawatan Bangunan Laut**, Airlangga Unirversty Press, Surabaya.

Supomo, Heri. 1999. **Diktat Kuliah Korosi**, Surabaya.

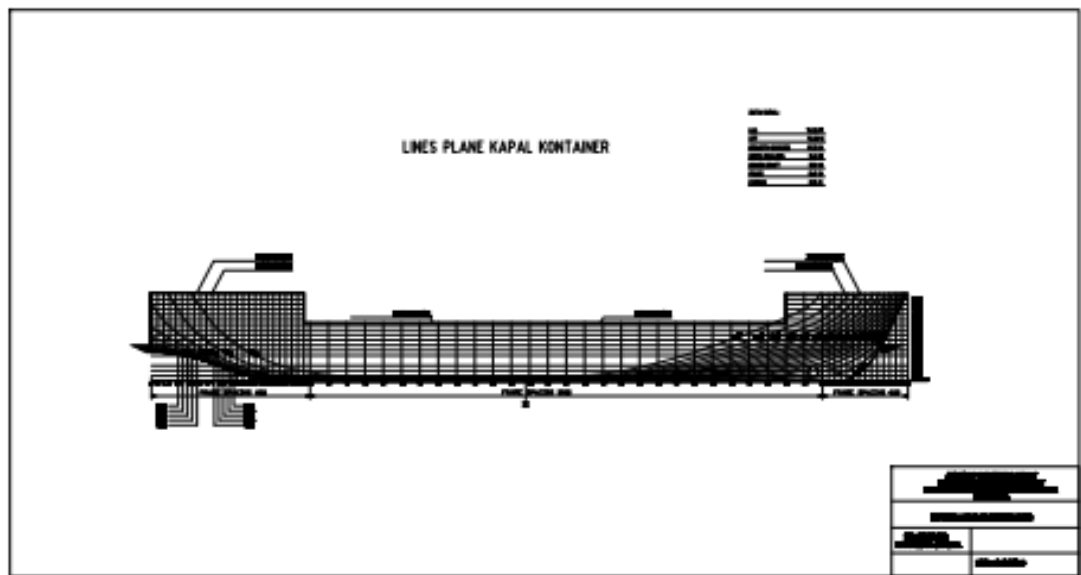
Trethewey, Kenneth, R, B.Sc, Ph.D, C.Chem, MRSC, MCORR.ST, John Chamberlain. 1991, **Korosi Untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasa**, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Zakaria, Muhammad. 2004. **Karakteristik Pencegahan Korosi Pipa Menggunakan SACP Dan ICCP**, Tugas Akhir S-1 Teknik Sistem Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

LAMPIRAN 1
DATA KONTAINER DAN
GAMBAR KAPAL



Gambar 1.1 Sheel Expantion Kapal Kontainer



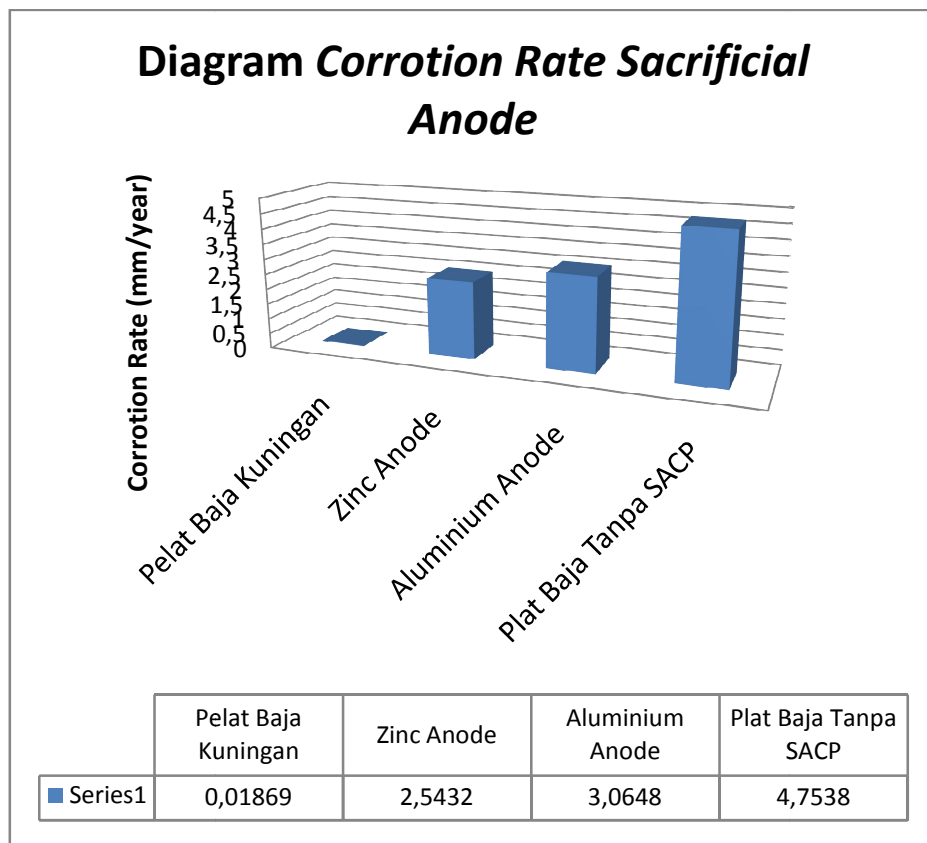
Gambar 1.2 Lines Plane Kapal Kontainer

LAMPIRAN 11
HASIL PENGUJIAN LAJU KOROSI

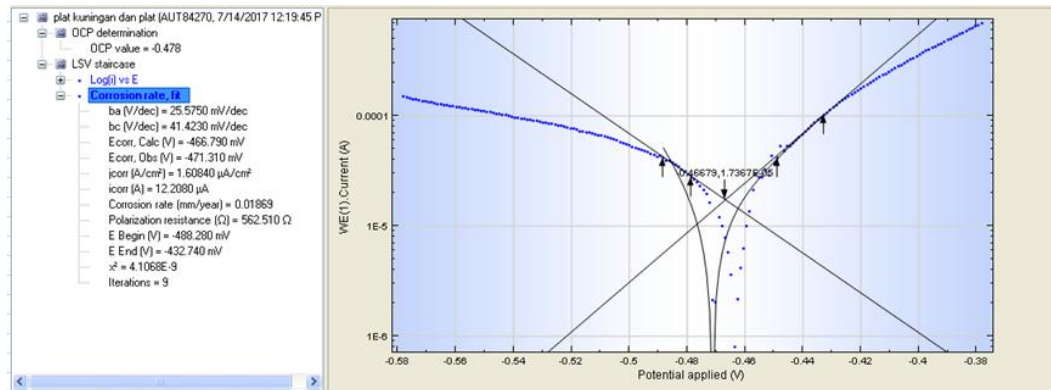
Hasil pengujian Laju Korosi di Laboraturium Elektrokimia dan Korosi Teknik Kimia FTK ITS sebagai berikut:

Tabel 1.1 Data Perhitungan Laju Korosi

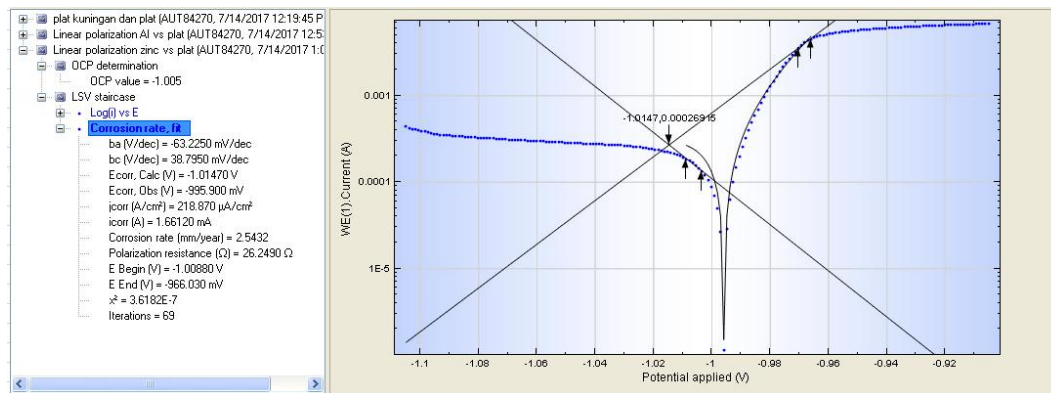
Material	Berat Awal	Area	Waktu Reaksi	Icorr	Corrosion Rate
	(gram)	(cm ²)	(detik)	(A)	(mm/year)
Alumunium	73.058	7.59	120	0.002	3.065
Zinc	18.366	7.59	120	0.001	2.543
Pelat Baja	20.836	7.59	120	0.0001	0.019



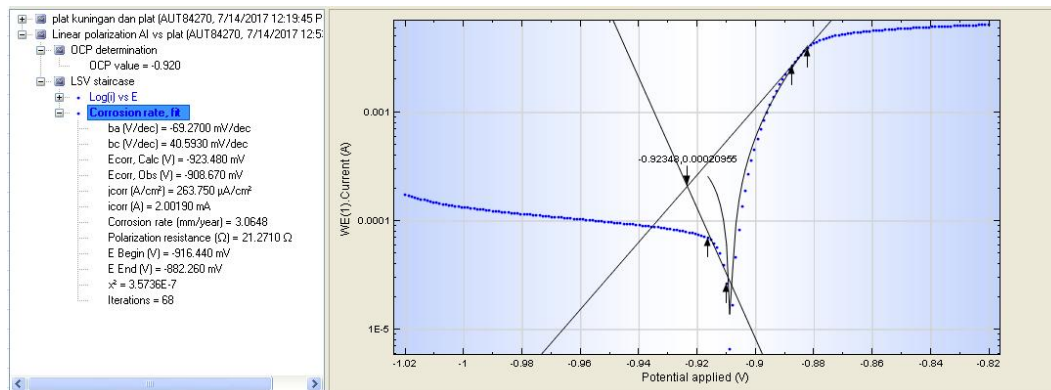
Gambar 1.1 Diagram *Corrothion Rate Sacrificial Anode*



Gambar 1.2 Digram Hasil Pengujian Pelat Kuningan dan Pelat Baja



Gambar 1.3 Diagram Hasil Pengujian SACP Paduan Zn dan Pelat Baja



Gambar 1.4 Digram Hasil Pengujian SACP Paduan Al dan Pelat Baja

LAMPIRAN III
PERHITUNGAN KEBUTUHAN
SACP PADUAN ALUMUNIAM

CATHODIC PROTECTION (ALUMINIUM ALLOW ANODE)

SHIP DATA

LOA	74,3	m
LPP	70	m
B	17,2	m
H	5,6	m
T	3,5	m
FRAME	0,6	m
CAMBER	0,15	
Vs	12	knot
Cb	0,675	

Hull SACP Al

Area (WSA)	1253,7	m ²
Current	12	mA/m ²
Design Life	1	tahun
Z	2700	A.h/Km
U	0,9	

$$\begin{aligned} \text{Current (Amps)} &= \frac{\text{Area (m}^2\text{)} \times \text{current density (mA/m}^2\text{)}}{1000} \\ &= \frac{1253,7 \times 12}{1000} \\ &= 15,04440 \quad \text{Amps} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Weight} \\ W &= \frac{\text{Current (A)} \times \text{design lfe} \times 8760}{Z \text{ (A.hrs/kg)} \times U} \\ &= \frac{15,04440 \times 1 \times 8760}{2700 \times 0,9} \\ &= 54,23413 \quad \text{Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Number Of Anode} \\ N &= \frac{\text{Total Weight}}{\text{Individual Net Weight}} \\ &= \frac{54,23413333}{3,6} \\ &= 15,06504 \quad \text{buah} \\ &= 15 \quad \text{buah} \end{aligned}$$

Bow Trushter SACP Al		
Area	3,0144	m ²
Current	700	mA/m ²
Design Life	1	tahun
Z	2700	A.h/Km
U	0,9	
Current (Amps)	=	$\frac{\text{Area (m}^2\text{)} \times \text{current density (m.A/m}^2\text{)}}{1000}$
	=	$\frac{3,0144 \times 700}{1000}$
	=	2,11008 Amps
Total Weight W	=	$\frac{\text{Current (A)} \times \text{design lfe} \times 8760}{Z \text{ (A.hrs/kg)} \times U}$
	=	$\frac{2,11008 \times 1 \times 8760}{2700 \times 0,9}$
	=	6,1614336 Kg
Number Of Anode N	=	$\frac{\text{Total Weight}}{\text{Individual Net Weight}}$
	=	$\frac{6,1614336}{3,6}$
	=	1,711509333 buah
	=	2 buah

Kemudi SACP Al		
Area	14,268	m ²
Current	250	mA/m ²
Design Life	1	tahun
Z	2700	A.h/Km
U	0,9	
Current (Amps)	=	$\frac{\text{Area (m}^2\text{)} \times \text{current density (m.A/m}^2\text{)}}{1000}$
	=	$\frac{14,268 \times 250}{1000}$
	=	3,567 Amps
Total Weight		
W	=	$\frac{\text{Current (A)} \times \text{design lfe} \times 8760}{Z \text{ (A.hrs/kg)} \times U}$
	=	$\frac{3,567 \times 1 \times 8760}{2700 \times 0,9}$
	=	10,41564 Kg
Number Of Anode		
N	=	$\frac{\text{Total Weight}}{\text{Individual Net Weight}}$
	=	$\frac{10,41564}{3,6}$
	=	2,89323 buah
	=	3 buah

Bilge Keel			
Area	11,092464	m ²	
Current	250	mA/m ²	
Design Life	1	tahun	
Z	2700	A.h/Km	
U	0,9		
Current (Amps)	=	$\frac{\text{Area (m}^2\text{)} \times \text{current density (m.A/m}^2\text{)}}{1000}$	
	=	$\frac{11,0925 \times 250}{1000}$	
	=	2,773116 Amps	
Total Weight W	=	$\frac{\text{Current (A)} \times \text{design lfe} \times 8760}{Z \text{ (A.hrs/kg)} \times U}$	
	=	$\frac{2,77312 \times 1 \times 8760}{780 \times 0,9}$	
	=	9,996912 Kg	
Number Of Anode N	=	$\frac{\text{Total Weight}}{\text{Individual Net Weight}}$	
	=	$\frac{9,996912}{3,6}$	
	=	2,77692 buah	
	=	3 buah	

SUMMARY

Location	Summary	Waight of Anode	Kg
Bow Trushter	2	4	8
Kemudi Kiri	3	4	12
Kemudi Kanan	3	4	12
Sea Chest	5	4	20
Sirip Bilge Kanan	3	4	12
Sirip Bilge Kiri	3	4	12
Bottom Plat Kiri	3	4	12
Bottom Plat Kanan	3	4	12
Stern	2	4	8
Bilge Kell	3	4	12
Total Anode	30		120

LAMPIRAN IV
PERHITUNGAN KEBUTUHAN
SACP PADUAN ZINC

CATHODIC PROTECTION (ZINC ALLOW ANODE)

SHIP DATA

LOA	74,3	m
LPP	70	m
B	17,2	m
H	5,6	m
T	3,5	m
FRAME	0,6	m
CAMBER	0,15	
Vs	12	knot
Cb	0,675	

Hull SACP Zn

Area (WSA)	1253,7	m ²
Current	12	mA/m ²
Design Life	1	tahun
Z	780	A.h/Kg
U	0,9	
Current (Amps)	=	$\frac{\text{Area (m}^2\text{)} \times \text{current density (mA/m}^2\text{)}}{1000}$
	=	$\frac{1253,7 \times 12}{1000}$
	=	15,0444 Amps
Total Weight W	=	$\frac{\text{Current (A)} \times \text{design lfe} \times 8760}{\text{Z (A.hrs/kg)} \times \text{U}}$
	=	$\frac{15,0444 \times 1 \times 8760}{780 \times 0,9}$
	=	187,7335385 Kg
Number Of Anode N	=	$\frac{\text{Total Weight}}{\text{Individual Net Weight}}$
	=	$\frac{187,7335385}{3,6}$
	=	52,14820513 buah
	=	52 buah

Bow Trushter SACP Zn		
Area	3,0144	m ²
Current	700	mA/m ²
Design Life	1	tahun
Z	780	A.h/Kg
U	0,9	
Current (Amps)	=	$\frac{\text{Area (m}^2\text{)} \times \text{current density (mA/m}^2\text{)}}{1000}$
	=	$\frac{3,0144 \times 700}{1000}$
	=	2,11008 Amps
Total Weight W	=	$\frac{\text{Current (A)} \times \text{design lfe} \times 8760}{\text{Z (A.hrs/kg)} \times \text{U}}$
	=	$\frac{2,11008 \times 1 \times 8760}{780 \times 0,9}$
	=	21,32803938 Kg
Number Of Anode N	=	$\frac{\text{Total Weight}}{\text{Individual Net Weight}}$
	=	$\frac{21,32803938}{3,6}$
	=	5,924455385 buah
	=	6 buah

Kemudi SACP Zn

Area	14,268	m ²
Current	250	mA/m ²
Design Life	1	tahun
Z	780	A.h/Kg
U	0,9	

$$\begin{aligned}\text{Current (Amps)} &= \frac{\text{Area (m}^2\text{)} \times \text{current density (mA/m}^2\text{)}}{1000} \\ &= \frac{14,268 \times 250}{1000} \\ &= 3,567 \quad \text{Amps}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total Weight} \\ W &= \frac{\text{Current (A)} \times \text{design lfe} \times 8760}{Z \text{ (A.hrs/kg)} \times U} \\ &= \frac{3,567 \times 1 \times 8760}{780 \times 0,9} \\ &= 36,05413846 \quad \text{Kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Number Of} \\ \text{Anode} \\ N &= \frac{\text{Total Weight}}{\text{Individual Net Weight}} \\ &= \frac{36,05413846}{3,6} \\ &= 10,01503846 \quad \text{buah} \\ &= 10 \quad \text{buah}\end{aligned}$$

Bilge Keel		
Area	11,092464	m ²
Current	250	mA/m ²
Design Life	1	tahun
Z	780	A.h/Kg
U	0,9	
Current (Amps)	=	$\frac{\text{Area (m}^2\text{)} \times \text{current density (m.A/m}^2\text{)}}{1000}$
	=	$\frac{11,092464 \times 250}{1000}$
	=	2,773116 Amps
Total Weight W	=	$\frac{\text{Current (A)} \times \text{design lfe} \times 8760}{Z \text{ (A.hrs/kg)} \times U}$
	=	$\frac{2,77312 \times 1 \times 8760}{780 \times 0,9}$
	=	34,6047 Kg
Number Of Anode N	=	$\frac{\text{Total Weight}}{\text{Individual Net Weight}}$
	=	$\frac{34,6047}{3,6}$
	=	9,612415 buah
	=	10 buah

SUMMARY

Location	Summary	Waight of Anode	Kg
Bow Trushter	6	4	24
Kemudi Kiri	6	4	24
Kemudi Kanan	6	4	24
Sea Chest	5	4	20
Sirip Bilge Kanan	8	4	32
Sirip Bilge Kiri	8	4	32
Bottom Plat Kiri	11	4	44
Bottom Plat Kanan	11	4	44
Stern	6	4	24
Bilge Keel	10	4	40
Total Anode	77		308

LAMPIRAN V
PERHITUNGAN BIAYA
SACP PADUAN ALUMUNIUM

PEMBELIAN ANODE				
Location	Summary	Waight of Anode	Harga Anode Satuan	Jumlah
Bow Trushter	2	4	Rp 284.800	Rp 569.600
Kemudi Kiri	2	4	Rp 284.800	Rp 569.600
Kemudi Kanan	2	4	Rp 284.800	Rp 569.600
Sea Chest	5	4	Rp 284.800	Rp 1.424.000
Sirip Bilge Kanan	3	4	Rp 284.800	Rp 854.400
Sirip Bilge Kiri	3	4	Rp 284.800	Rp 854.400
Bottom Plat Kiri	4	4	Rp 284.800	Rp 1.139.200
Bottom Plat Kanan	4	4	Rp 284.800	Rp 1.139.200
Stern	2	4	Rp 284.800	Rp 569.600
Bilge Keel	3	4	Rp 284.800	Rp 854.400
			TOTAL	Rp 8.544.000
INSTALASI ANODE				
Location	Summary	Waight of Anode	Harga Instalasi Satuan	Jumlah
Bow Trushter	2	4	Rp 144.000	Rp 288.000
Kemudi Kiri	2	4	Rp 144.000	Rp 288.000
Kemudi Kanan	2	4	Rp 144.000	Rp 288.000
Sea Chest	5	4	Rp 144.000	Rp 720.000
Sirip Bilge Kanan	3	4	Rp 144.000	Rp 432.000
Sirip Bilge Kiri	3	4	Rp 144.000	Rp 432.000
Bottom Plat Kiri	4	4	Rp 144.000	Rp 576.000
Bottom Plat Kanan	4	4	Rp 144.000	Rp 576.000
Stern	2	4	Rp 144.000	Rp 288.000
Bilge Keel	3	4	Rp 144.000	Rp 432.000
			TOTAL	Rp 4.320.000

MAINTENANCE (ALUMINIUM ALLOW ANODE)							
NO	PEKERJAAN			VOLUME		UNIT PRICE (Rp)	TOTAL PRICE (Rp)
A	PENGEDOKAN / Docking						
	Pengaturan keel block dan side block			1	ls	Rp 4.500.000	Rp 4.500.000
	Kapal dinaikan dan diturunkan dok			1	kpl	Rp 10.732.700	Rp 10.732.700
	Kapal berada diatas dok			3	hari	Rp 1.290.300	Rp 3.870.900
	Assistance Line Handler			1	ls	Rp 3.349.500	Rp 3.349.500
	Assitance Tugboat			1	ls	Rp 5.241.500	Rp 5.241.500
	Pandu / Pilotage			1	ls	Rp 2.657.600	Rp 2.657.600
B.	PELAYANAN UMUM / General Service						
	Mooring & unmooring			1	ls	Rp 1.894.200	Rp 1.894.200
	Fasilitas tempat tambat / Warfage			1	hari	Rp 792.000	Rp 792.000
	Pengecekan bebas gas / Gas free, Estimasi			2	tk	Rp 594.000	Rp 1.188.000
	Supply aliran listrik selama kapal diatas diperbaiki						
a.	Penyambungan/pelepasan kabel			2	kali	Rp 415.800	Rp 831.600
b.	Supply tenaga listrik 380 V, 50 Hz, 20 A, 3 phase			3	hari	Rp 806.000	Rp 2.418.000
	Sistem pemadam kebakaran / Fire line						
a.	Penyambungan/pelepasan selang			2	kali	Rp 269.500	Rp 539.000
b.	Disediakan sambungan pemadam kebakaran			3	hari	Rp 269.500	Rp 808.500
	Petugas penjaga kebakaran 1 org/hari			3	hari	Rp 330.000	Rp 990.000
	Fasilitas MCK untuk ABK selama pengedokan			3	hari	Rp 269.500	Rp 808.500
	Fasilitas pembuangan sampah (1 ton per 2 hari)			3	hari	Rp 233.200	Rp 699.600
	Disupply air tawar						
a.	Penyambungan/pelepasan selang			2	kali	Rp 269.500	Rp 539.000
b.	Supply air tawar			5	ton	Rp 73.700	Rp 368.500
C.	PELAYANAN LAIN - LAIN / Others Services						
	Docking Raport diketahui class			1	ls	Rp 2.640.000	Rp 2.640.000
	Pembuatan booklet hasil ultrasonic test			1	ls	Rp 2.145.000	Rp 2.145.000
D.	PEMROSESAN MATERIAL LAMBUNG						
	Ultrasonic test Plat Lambung			1	titik	Rp 24.200	Rp 24.200
						SUMMARY	Rp 47.038.300

LAMPIRAN VI
PERHITUNGAN BIAYA
SACP PADUAN ZINC

PEMBELIAN ANODE				
Location	Summary	Waight of Anode	Harga Anode Satuan	Jumlah
Bow Trushter	6	4	Rp 339.000	Rp 2.034.000
Kemudi Kiri	6	4	Rp 339.000	Rp 2.034.000
Kemudi Kanan	6	4	Rp 339.000	Rp 2.034.000
Sea Chest	5	4	Rp 339.000	Rp 1.695.000
Sirip Bilge Kanan	8	4	Rp 339.000	Rp 2.712.000
Sirip Bilge Kiri	8	4	Rp 339.000	Rp 2.712.000
Bottom Plat Kiri	11	4	Rp 339.000	Rp 3.729.000
Bottom Plat Kanan	11	4	Rp 339.000	Rp 3.729.000
Stern	6	4	Rp 339.000	Rp 2.034.000
Bilge Keel	10	4	Rp 339.000	Rp 3.390.000
			TOTAL	Rp 26.103.000
INSTALASI ANODE				
Location	Summary	Waight of Anode	Harga Instalasi Satuan	Jumlah
Bow Trushter	6	4	Rp 114.000	Rp 684.000
Kemudi Kiri	6	4	Rp 114.000	Rp 684.000
Kemudi Kanan	6	4	Rp 114.000	Rp 684.000
Sea Chest	5	4	Rp 114.000	Rp 570.000
Sirip Bilge Kanan	8	4	Rp 114.000	Rp 912.000
Sirip Bilge Kiri	8	4	Rp 114.000	Rp 912.000
Bottom Plat Kiri	11	4	Rp 114.000	Rp 1.254.000
Bottom Plat Kanan	11	4	Rp 114.000	Rp 1.254.000
Stern	6	4	Rp 114.000	Rp 684.000
Bilge Keel	10	4	Rp 114.000	Rp 1.140.000
			TOTAL	Rp 8.778.000

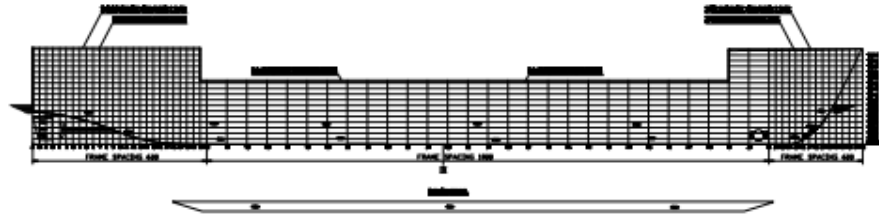
MAINTENANCE (ZINC ALLOW ANODE)							
NO	PEKERJAAN			VOLUME		UNIT PRICE (Rp)	TOTAL PRICE (Rp)
A.	PENGEDOKAN / Docking						
	Pengaturan keel block dan side block			1	ls	Rp 4.500.000	Rp 4.500.000
	Kapal dinaikan dan diturunkan dok			1	kpl	Rp 10.732.700	Rp10.732.700
	Kapal berada diatas dok			3	hari	Rp 1.290.300	Rp 3.870.900
	Assistance Line Handler			1	ls	Rp 3.349.500	Rp 3.349.500
	Assitance Tugboat			1	ls	Rp 5.241.500	Rp 5.241.500
	Pandu / Pilotage			1	ls	Rp 2.657.600	Rp 2.657.600
B.	PELAYANAN UMUM / General Service						
	Mooring & unmooring			1	ls	Rp 1.894.200	Rp 1.894.200
	Fasilitas tempat tambat / Warfage			1	hari	Rp 792.000	Rp 792.000
	Pengecekan bebas gas / Gas free, Estimasi			2	tk	Rp 594.000	Rp 1.188.000
	Supply aliran listrik selama kapal diatas diperbaiki						
	a.	Penyambungan/pelepasan kabel		2	kali	Rp 415.800	Rp 831.600
	b.	Supply tenaga listrik 380 V, 50 Hz, 20 A, 3 phase		3	hari	Rp 806.000	Rp 2.418.000
	Sistem pemadam kebakaran / Fire line						
	a.	Penyambungan/pelepasan selang		2	kali	Rp 269.500	Rp 539.000
	b.	Disediakan sambungan pemadam kebakaran		3	hari	Rp 269.500	Rp 808.500
	Petugas penjaga kebakaran 1 org/hari			3	hari	Rp 330.000	Rp 990.000
	Fasilitas MCK untuk ABK selama pengedokan			3	hari	Rp 269.500	Rp 808.500
	Fasilitas pembuangan sampah (1 ton per 2 hari)			3	hari	Rp 233.200	Rp 699.600
	Disupply air tawar						
	a.	Penyambungan/pelepasan selang		2	kali	Rp 269.500	Rp 539.000
	b.	Supply air tawar		5	ton	Rp 73.700	Rp 368.500
C.	PELAYANAN LAIN - LAIN / Others Services						
	Docking Raport diketahui class			1	ls	Rp 2.640.000	Rp 2.640.000
	Pembuatan booklet hasil ultrasonic test			1	ls	Rp 2.145.000	Rp 2.145.000
D.	PEMROSESAN MATERIAL LAMBUNG						
	Ultrasonic test Plat Lambung			1	titik	Rp 24.200	Rp 24.200
						SUMMARY	Rp 47.058.300

LAMPIRAN VII
GAMBAR PELETAKAN SACP
PADUAN ALUMUNIUM PADA MODEL

SIDE VIEW ALUMUNUM ANODE

PRINCIPAL PARTICLES

ALUMINUM	50.0%
SILICA	20.0%
IRON OXIDE	10.0%
COBALT OXIDE	10.0%
CHROMIUM	10.0%
NI	10.0%
BR	10.0%



ALUMINUM ANODE	
ALUMINUM ANODE	
ALUMINUM ANODE	10.0%
ALUMINUM ANODE	10.0%

LAMPIRAN VIII
GAMBAR PELETAKAN SACP
PADUAN ZINC PADA MODEL

SIDE VIEW ZINC ANODE



BIODATA PENULIS



Fitri Lidya Sandra lahir di Kediri pada tanggal 26 maret 1995, merupakan anak sulung dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Negeri 2 Adan-Adan, SMP Negeri 1 Gurah, dan SMA Negeri 2 Pare. Setelah lulus SMA pada tahun 2013, penulis melanjutkan studi di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui jalur SNMPTN dengan NRP 4313100015. Selama menjadi mahasiswa selain aktif dibidang akademis, penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi regional kampus maupun nasional. Kegiatan organisasi yang pernah diikuti oleh penulis adalah Unit Kegiatan Mahasiswa Maritime Challenge ITS dan Indonesia Maritime Challenge. Penulis mengakhiri masa perkuliahan dengan menulis Tugas Akhir dengan judul “Analisis Perbandingan Kinerja *Sacrificial Anode* Paduan Aluminium WT S-4 Al Dan Paduan Seng WT S-4 Zn Untuk Pencegah Korosi Pada Kapal” sebagai syarat kelulusan Stata 1.

Contact person: fitrilidyasandra@gmail.com

